**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**

# Regimes de Neutro em Redes e Instalações de BT-Vantagens/Inconvenientes para a Segurança das Pessoas, Bens e para a Exploração dos Sistemas

Pedro Jorge Vieira Meireles

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Prof. Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura

Fevereiro 2012

© Pedro Jorge Vieira Meireles, 2012

# Resumo

Esta dissertação tem como principal objetivo a conceção e implementação de um algoritmo de seleção de regime de neutro em baixa tensão. Este algoritmo permite selecionar qual o regime de neutro mais adequado a cada situação de acordo com as vantagens e os inconvenientes que possam advir da utilização de cada um tendo em conta a situação em que são utilizados, nomeadamente a natureza da instalação e da rede, sempre com prioridade à proteção de pessoas e bens assim como à exploração do sistema.

Este algoritmo, que funcionará como guia, define o regime de neutro de uma instalação de baixa tensão tendo em consideração a imposição ou recomendação da legislação em vigor, aborda a eventual necessidade de uma análise conjunta entre o utilizador final e o operador de rede para a verificação de compatibilidade entre a instalação particular e o regime de neutro já estabelecido localmente ou a estabelecer que dependerá essencialmente da natureza das cargas elétricas, da necessidade de continuidade de serviço pretendida e do limite do nível de perturbação imposto pelos equipamentos mais sensíveis da rede. O algoritmo tem em consideração os critérios de segurança propostos pela CEI 60364 (Comissão Eletrotécnica Internacional), RTIEBT (Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão).

O critério de segurança das normas anteriormente mencionadas, e para o caso deste tema em particular, baseiam-se na proteção de pessoas contra contatos indiretos. Esta proteção pressupõe que qualquer defeito que surja num equipamento elétrico origina a circulação de uma corrente, que deve ser interrompida num tempo que seja compatível com a segurança das pessoas. A medida de proteção por corte automático da alimentação baseia-se na associação de: realização ou existência de um circuito (malha de defeito) que permite a circulação de uma corrente de defeito, onde a constituição desta malha depende do esquema das ligações à terra (TT, TN, IT); o corte dessa corrente seja efetuado por um dispositivo de proteção apropriado, num tempo determinado a partir do conhecimento dos efeitos da corrente elétrica no corpo humano.

Esta dissertação termina com o estabelecimento de um manual técnico de aconselhamento para projetistas de instalações elétricas em baixa tensão sobre regimes de neutro a utilizar. Também será elaborada uma ferramenta que permitirá a consulta do guia do projetista em formato eletrónico (programa).

# Abstract

*This work has as main purpose the conception and implementation of an algorithm for selection of the neutral at low voltage. This algorithm allows the selection of the most appropriate scheme neutral to each situation according to the advantages and disadvantages that may arise from the use of each one taking into account the situation in which they are used, namely the nature of the installation and the network, always with priority to the protection of persons and property as well as the operation of the system.*

*This algorithm, that will function as guide, defines the neutral regimen of an installation considering the imposition or recommendation of the legislation, discusses the possible need for a joint analysis between the client and the network operator to check compatibility between the particular installation and the regimen of neutral already established locally or to establish that it will depend essentially on the nature of electric loads, the necessity of intended continuity of service and of the limit of the disturbance level tax for the equipment most sensitive of the net. The algorithm has in consideration the criteria of security proposed by CEI 60364 (International Electrotechnical Commission), RTIEBT (Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão).*

*The criterion of security of the norms previously mentioned, and for the case of this subject in particular, is based on the protection of people against indirect contacts. This protection estimates that any defect that appears in an electric equipment originates the circulation of a chain, that must be interrupted in a time that is compatible with the security of the people. The measure of protection for cuts automatic of the feeding is based on the association of: accomplishment or existence of a circuit (defect mesh) that it allows the circulation of a defect chain, where the constitution of this mesh depends on the project of the earthings (TT, TN, IT); it cuts of this chain is accomplished by an appropriate device of protection, in a time determined from the knowledge of the effects of the electric chain in the human body.*

*This dissertation finishes with the establishment of a manual technician of advice for designers of electric installations in low neutral tension on regimes of using. Also a tool will be elaborated that will allow the consultation of the guide of the designer in electronic format (program).*

# Agradecimentos

A elaboração desta tese só foi possível graças à colaboração que várias pessoas e instituições prestaram, ao longo destes meses, a quem quero expressar o meu maior e sincero agradecimento.

Em primeiro lugar quero agradecer ao meu orientador, professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura, pela sua orientação sábia, atenção, conselhos, motivação, disponibilidade e acima de tudo pela grande amizade.

Agradecer, às instituições da EDP e CELER pela disponibilidade demonstrada, conhecimento transmitido e esclarecimento de dúvidas.

Ao Engº António Guedes Mesquita da EDP distribuição e CELER, pela sua pronta disponibilidade, colaboração e esclarecimento de dúvidas.

Ao Engº Daniel Pinto da EDP distribuição pela sua disponibilidade e colaboração.

Não posso deixar também de agradecer ao Engº Francisco Beires do IEP pela disponibilidade, preocupação e conselhos.

Finalmente quero agradecer o apoio incondicional da minha família, em especial aos meus pais e irmã e também à minha namorada.

# Índice

Resumo ..... v
Abstract ..... vii
Agradecimentos ..... ix
Índice ..... xi
Lista de figuras ..... xvii
Lista de tabelas ..... xxi
Abreviaturas e Símbolos ..... xxiii
Capítulo 1 ..... 1
Introdução ..... 1
Capítulo 2 ..... 5
Importância do Regime de Neutro ..... 5
2.1 – Introdução ..... 5
2.2 – Causas de Falha de Isolamento ..... 6
2.3 – Riscos provenientes da falha de isolamento ..... 6
2.3.1 – Risco do choque elétrico no corpo humano ..... 7
2.3.2 – Risco de Incêndio ..... 8
2.3.3 – Risco de não Continuidade de Energia Elétrica ..... 9
2.4 – Contatos diretos e indiretos ..... 10
2.4.1 – Tensão de contato ..... 10
2.4.2 – Medidas de Proteção para Contatos Diretos ..... 11
2.4.3 – Medidas de Proteção para Contatos Indiretos ..... 12
Capítulo 3 ..... 13
Regimes de Neutro ..... 13
3.1 – Introdução ..... 13
3.2 – Resistência e Capacidade de fuga entre cada Fase e a Terra ..... 14
3.3 – Regime de Neutro e Corrente de Defeito ..... 15
3.4 – Sobretensões ..... 16
3.5 – Regimes de Neutro Utilizados em Baixa Tensão ..... 17
3.5.1 – Esquema de Ligação TT ..... 17

3.5.2 – Esquema de Ligação TN ..... 17
3.5.3 – Esquema de Ligação IT ..... 20
Capítulo 4 ..... 23
O Perigo do Contato Direto em Cada Regime de Neutro ..... 23
4.1 – Introdução ..... 23
4.2 – Perigo de Contato Direto em Esquema de Ligação IT ..... 23
4.2.1 – Caso de uma rede isolada e de pequena extensão ..... 23
4.2.2 – Caso de uma rede isolada e de grande extensão ..... 24
4.2.3 – Caso de uma rede apresentando um defeito de isolamento ..... 24
4.2.4 – Caso de um contato com o condutor de neutro ..... 25
4.3 – Perigo de Contato Direto em Esquema de Ligação TT ou TN ..... 25
4.3.1 – Caso de uma rede bem isolada ..... 25
4.3.2 – Caso de uma rede com um defeito de isolamento numa das fases ..... 26
4.3.3 – Caso de um contato direto com o neutro ..... 27
4.4 – Proteção contra os contatos diretos em baixa tensão ..... 28
Capítulo 5 ..... 31
O Perigo de Contato Indireto em Cada Regime de Neutro ..... 31
5.1 – Introdução ..... 31
5.2 – Perigo de Contato Indireto em Esquema de Ligação IT ..... 31
5.2.1 - Tensão de contato após o primeiro defeito de isolamento ..... 31
5.2.2 - Tensão de contato após o segundo defeito de isolamento ..... 32
5.3 – Perigo de Contato Indireto em Esquema de Ligação TT ..... 34
5.4 – Perigo de Contato Indireto em Esquema de Ligação TN ..... 36
5.5 – Proteção Contra Contatos Indiretos ..... 38
5.5.1 – Proteção sem corte de alimentação ..... 38
5.5.2 – Proteção com corte automático de alimentação ..... 41
5.5.2.1 – Caso de uma Instalação com neutro isolado e massas à terra, IT ..... 42
5.5.2.2 – Caso de uma Instalação com neutro ligado diretamente à terra e massas à terra, TT ..... 43
5.5.2.3 – Caso de uma Instalação com neutro ligado diretamente à terra e massas ao neutro, TN ..... 45
Capítulo 6 ..... 47
Vantagens/Inconvenientes, técnicas de exploração e proteção de pessoas de cada Regime de Neutro ..... 47
6.1 – Introdução ..... 47
6.2 – Neutro Isolado, IT ..... 48
6.2.1 – Técnicas de Exploração ..... 48

6.2.2 – Técnicas de Proteção de Pessoas ..... 49
6.2.3 – Vantagens ..... 50
6.2.4 – Inconvenientes ..... 50
6.3 – Neutro Ligado Diretamente à Terra, TT ..... 52
6.3.1 – Técnicas de Exploração ..... 52
6.3.2 – Técnicas de Proteção de Pessoas ..... 53
6.3.3 – Vantagens ..... 53
6.3.4 – Inconvenientes ..... 53
6.4 – Neutro Ligado à Massa, TN-C e TN-S ..... 54
6.4.1 – Técnicas de Exploração ..... 54
6.4.2 – Técnicas de Proteção de Pessoas ..... 54
6.4.3 – Vantagens ..... 54
6.4.4 – Inconvenientes ..... 55
6.5 – Comparação entre os vários Regimes de Neutro ..... 58
Capítulo 7 ..... 61
Compatibilidade entre características da rede e os diferentes Regimes de Neutro ..... 61
Capítulo 8 ..... 65
Método para definir o Regime de Neutro de uma instalação BT ..... 65
8.1 – Introdução ..... 65
8.2 – Definir o Regime de Neutro de uma Instalação ..... 66
8.3 – Fluxograma para escolha expedita do RN a utilizar (risco incêndio/explosão) ..... 68
8.3.1 – Escolha do RN tendo em conta a NATUREZA DA REDE ..... 69
8.3.1.1 – Rede extensa com boas ligações à terra ..... 69
8.3.1.2 – Rede extensa com más ligações à terra ..... 70
8.3.1.3 – Rede sujeita a perturbações (sobretensões) ..... 71
8.3.1.4 – Rede com correntes de fuga elevadas (>500mA) ..... 72
8.3.1.5 – Rede com linhas aéreas ..... 73
8.3.1.6 – Rede com grupo de emergência ..... 74
8.3.2 – Escolha do RN tendo em conta a NATUREZA DOS RECETORES ..... 75
8.3.2.1 – Recetores sensíveis a grandes correntes de defeito ..... 75
8.3.2.2 – Recetores com baixo nível de isolamento (fornos, aparelhos de soldar, cozinhas industriais…) ..... 76
8.3.2.3 – Instalação com numerosos recetores portáteis monofásicos ..... 77
8.3.2.3 – Recetores de risco (por explo guinchos) ..... 78
8.3.2.4 – Alimentação de sistemas de controlo e comando ..... 79
8.3.3 – Escolha do RN tendo em conta “OUTRAS CARATERÍSTICAS” ..... 80
8.3.3.1 – Instalação com possibilidade elevada de modificações ..... 80

8.3.3.2 – Instalações com incerteza no comportamento dos sistemas de terra ..... 81
8.3.3.3 – Presença de equipamentos eletrónicos (computadores, autómatos programáveis …) ..... 82
8.4 – Alterações a efetuar no caso de ser necessária a mudança do Regime de Neutro de uma instalação elétrica já existente ..... 83
8.4.1 – Caso de Mudança do Sistema TT para TN ..... 83
8.4.2 – Caso de Mudança do Sistema TT para IT ..... 84
8.4.3 – Caso de Mudança do Sistema TN para TT ..... 86
8.4.4 – Caso de Mudança do Sistema TN para IT ..... 87
8.4.5 – Caso de Mudança do Sistema TN-C para TN-S ..... 89
8.4.5 – Caso de Mudança do Sistema TN-S para TN-C ..... 89
8.4.6 – Caso de Mudança do Sistema IT para TN ..... 90
8.4.7 – Caso de Mudança do Sistema IT para TT ..... 91
Capítulo 9 ..... 93
Conclusão ..... 93
Bibliografia ..... 97
Anexos ..... 99
A.1 – Aplicação do Algoritmo ..... 99
A.1.1 – Introdução ..... 99
A.1.2 – Características da rede, dos recetores e outras. Exigências e recursos do cliente para cada instalação. ..... 100
A.1.2.1 – Edifício de escritórios de apoio ao cliente ..... 100
A.1.2.2 – Clínica cirúrgica ..... 100
A.1.2.3 – Fábrica pirotécnica ..... 100
A.1.2.4 – Clínica veterinária ..... 101
A.1.2.5 – Infra-Estrutura portuária ..... 101
A.1.2.6 – Infantário ..... 101
A.1.2.7 – Armazém de produtos congelados de pequena dimensão ..... 102
A.1.2.8 – Pistas de aeroporto ..... 102
A.1.3 – Escolha do Regime de Neutro ..... 102
A.1.3.1 – Edifício de escritórios de apoio ao cliente ..... 102
A.1.3.2 – Clínica cirúrgica ..... 103
A.1.3.3 – Fábrica pirotécnica ..... 103
A.1.3.4 – Clínica veterinária ..... 103
A.1.3.5 – Infra-Estrutura portuária ..... 103
A.1.3.6 – Infantário ..... 103
A.1.3.7 – Armazém de produtos congelados de pequena dimensão ..... 104

A.1.3.8 – Pistas de aeroporto ..... 104
A.2 – Esquema de ligações na instalação do utilizador final ..... 105
A.2.1 – Caso de Instalação TN-S ..... 105
A.2.2 – Caso de Instalação TN-C-S ..... 106
A.2.3 – Caso de Instalação TN-C ..... 107
A.2.4 – Caso de Instalação TT ..... 108
A.2.5 – Caso de Instalação IT ..... 109

# Lista de figuras

Figura 2.1 – Efeitos da corrente no corpo humano em função do tempo [14]..... 7
Figura 2.2 – Disponibilidade de energia [6] ..... 10
Figura 2.4 – Contato direto [3]. ..... 11
Figura 2.5 – Contato indireto [3]..... 12
Figura 3.1 – Exemplo de vários regimes de neutro coexistindo na mesma instalação [6]..... 14
Figura 3.2 – Esquema equivalente de uma rede [1]. ..... 15
Figura 3.3 – Regime de neutro e corrente de defeito [1]. ..... 16
Figura 3.4 – Esquema de ligação TT [1]. ..... 17
Figura 3.5 – Esquema de ligação TN-C-S. ..... 18
Figura 3.6 – Esquema de ligação TN-C [1]. ..... 19
Figura 3.7 – Esquema de ligação TN-S [1]. ..... 19
Figura 3.8 – Esquema de ligação IT [1]. ..... 21
Figura 4.1 – Rede perfeitamente isolada-contato com a fase 1 [1]. ..... 24
Figura 4.2 – Rede apresentando um defeito de isolamento na fase 1 [1]. ..... 25
Figura 4.3 – Contato com o condutor de neutro [1]. ..... 25
Figura 4.4 – Caso de uma rede bem isolada [1]. ..... 26
Figura 4.5 – Caso de uma rede com defeito de isolamento [1]. ..... 26
Figura 4.6 – Caso de um contato direto com o neutro [1]..... 27
Figura 4.7 – Proteção de contatos diretos por dispositivo diferencial [1]. ..... 29
Figura 5.1 – Tensão de contato numa rede de neutro isolado após o primeiro defeito de isolamento [1]. ..... 32
Figura 5.2 – Tensão de contato numa rede de neutro isolado após o segundo defeito de isolamento [1]. ..... 34
Figura 5.3 – Tensão de contato após o primeiro defeito de isolamento [1]..... 35
Figura 5.4 – Proteção por dispositivo diferencial. Esquema TT [1]. ..... 36
Figura 5.5 –Tensão de contato após o primeiro defeito. Esquema TN [1]. ..... 37
Figura 5.6 – Tensão de contato ao nível de uma massa fora de defeito. Esquema TN [1]. ..... 38
Figura 5.7 – Material de classe II. ..... 40
Figura 5.8 – Ligação equipotencial de todas as massas simultaneamente acessíveis. ..... 40
Figura 5.9 – Proteção por afastamento ou por interposição de obstáculos [3]. ..... 41
Figura 5.10 – Esquema a – IT [1]..... 42
Figura 5.11 – Esquema b – IT [1]..... 43
Figura 5.12 – Disposição mínima obrigatória para proteção por diferencial. ..... 44
Figura 5.13 – Disposição para proteção diferencial permitindo seletividade vertical. ..... 44
Figura 5.14 – Disposição para proteção diferencial permitindo seletividade horizontal. ..... 45
Figura 5.15 – Disposição de uma instalação TN, mínimo obrigatório [1]. ..... 45
Figura 6.1 – Exemplo de escolha de regime de neutro em BT [1]. ..... 48
Figura 6.2 – Utilização de dispositivos diferenciais para proteção de recetores . ..... 49

Figura 6.3 – Esquema IT. A circulação de correntes capacitivas pode provocar disparos intempestivos dos aparelhos diferenciais. 51
Figura 6.4 – Controlo permanente de isolamento (CPI) em diversas partes de uma rede com fonte de emergência [4]. 52
Figura 6.5 – Esquema TN-C e TN-S – caso de corte acidental do condutor PEN e PE, respetivamente [5]. 55
Figura 6.6 – Problemática da existência simultânea numa instalação do regime TT e regime TN-C [5]. 56
Figura 8.1 – Associação em série dos vários regimes de neutro numa instalação [7]. 67
Figura 8.2 – Associação em antena dos vários regimes de neutro numa instalação [7]. 67
Figura 8.3 – Fluxograma para a seleção expedita do regime de neutro (risco incêndio/explosão). 68
Figura 8.4 – Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede extensa com boas ligações à terra. 69
Figura 8.5 – Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede extensa com más ligações à terra. 70
Figura 8.6 – Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede sujeita a perturbações (sobretensões). 71
Figura 8.7 – Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede com correntes de fuga elevadas (>500mA). 72
Figura 8.8 – Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede com linhas aéreas. 73
Figura 8.9 – Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede com grupo de emergência. 74
Figura 8.10 – Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede com recetores sensíveis a grandes correntes de defeito. 75
Figura 8.11 – Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede com recetores com baixo nível de isolamento. 76
Figura 8.12 – Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma instalação com numerosos recetores portáteis monofásicos. 77
Figura 8.13 – Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede com recetores de risco. 78
Figura 8.14 – Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta a alimentação de sistemas de controlo e comando. 79
Figura 8.15 – Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma instalação com possibilidade levada de modificações. 80
Figura 8.16 – Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma instalação com incerteza no comportamento do sistema de terras. 81
Figura 8.17 – Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede com presença de equipamentos eletrónicos. 82
Figura 8.18 – Sistema TT [8]. 83
Figura 8.19 – Sistema TN [8]. 83
Figura 8.20 – Sistema TT [8]. 84
Figura 8.21 – Sistema IT, esquema (a) (esquerda) e esquema (b) (direita) [1]. 84
Figura 8.22 – Sistema TN [8]. 86
Figura 8.23 – Sistema TT [8]. 86
Figura 8.24 – Sistema TN [8]. 87
Figura 8.25 – Sistema IT, esquema (a) (esquerda) e esquema (b) (direita) [1]. 87
Figura 8.26 – Sistema TN-C-S [1]. 89
Figura 8.27 – Sistema TN-C [1]. 89
Figura 8.28 – Sistema IT, esquema (a) (esquerda) e esquema (b) (direita) [1]. 90
Figura 8.29 – Sistema TN [8]. 90
Figura 8.30 – Sistema IT, esquema (a) (esquerda) e esquema (b) (direita) [1]. 91

Figura 8.31 – Sistema TT [8]. ..... 91
Figura A.1 – Sistema TN-S (monofásico) na instalação do utilizador final. ..... 105
Figura A.2 – Sistema TN-C-S (monofásico) na instalação do utilizador final. ..... 106
Figura A.3 – Sistema TN-C (monofásico) na instalação do utilizador final. ..... 107
Figura A.4 – Sistema TT (monofásico) na instalação do utilizador final. ..... 108
Figura A.5– Sistema IT, esquema (a) (esquerda) e esquema (b) (direita) [1]. ..... 109

# Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Descrição da figura 2.1. ..... 8
Tabela 6.1 – Comparação entre os vários regimes de neutro. ..... 58
Tabela 7.1 – Compatibilidade entre características da rede e os diferentes RN. ..... 61

# Abreviaturas e Símbolos

Lista de Abreviaturas

| | |
|---|---|
| BT | Baixa Tensão |
| CEM | Compatibilidade Eletromagnética |
| PEN | Condutor de neutro com função de proteção |
| PE | Condutor de proteção Elétrica |
| CPI | Controlador Permanente de Isolamento |
| AC ou CA | Corrente Alternada |
| DC | Corrente Contínua |
| DDR | Disjuntor Diferencial de Corrente Residual |
| D | Disponibilidade |
| IP | Índice de Proteção |
| IEC | International Electrotechnical Commission |
| MDT | Mean Down Time – “Tempo médio de falha” |
| MUT | Mean Up Time – “Tempo médio de bom funcionamento” |
| MT | Média Tensão |
| TT | Neutro do transformador ligado à Terra e massas à Terra |
| TN | Neutro do transformador ligado à Terra e massas ligadas ao Neutro |
| TN-C | Neutro do transformador ligado à Terra e massas ligadas ao Neutro desempenhando este a função de proteção elétrica |
| TN-S | Neutro do transformador ligado à Terra e massas ligadas ao Neutro existindo um condutor de proteção elétrica distribuído |

| | |
|---|---|
| IT | Neutro do transformador Isolado e massas ligadas à Terra |
| PT | Posto de Transformação |
| RN | Regime de Neutro |
| RTIEBT | Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão |
| TRS | Tensão Reduzida de Segurança |

Lista de Símbolos

| | |
|---|---|
| $C_1$, $C_2$, $C_3$ | Capacidade entre cada fase e a terra [F] |
| $I_{\Delta n}$ | Corrente diferencial (limiar de funcionamento do diferencial) |
| $\omega$ | Frequência angular da rede (2.π.f) [rad/s] |
| $f$ | Frequência elétrica [Hz] |
| $Z$ | Impedância [Ω] |
| $Z_N$ | Impedância de ligação do neutro à terra [Ω] |
| $I$ | Intensidade de corrente [A] |
| $I_d$ ou $I_f$ | Intensidade de corrente de defeito [A] |
| $R_{epiderme}$ | Resistência da epiderme [Ω] |
| $R_M$ | Resistência de ligação da Massa à terra [Ω] |
| $R_N$ | Resistência de ligação do Neutro à terra [Ω] |
| $R_d$ | Resistência do circuito de defeito [Ω] |
| $R_{corpo}$ | Resistência do corpo [Ω] |
| $R_{interna}$ | Resistência Interna [Ω] |
| $R_1$, $R_2$, $R_3$ | Resistências de isolamento da fase 1, 2 e 3 respetivamente [Ω] |
| $\rho$ | Resistividade [$\Omega.mm^2/m$] |
| $t$ | Tempo [s] |
| $U_C$ | Tensão de Contato [V] |
| $U_L$ | Tensão Limite [V] |

# Capítulo 1

# Introdução

Nos dias de hoje é impossível imaginar o mundo sem a energia elétrica. Esta tornou-se num insumo essencial para quase todas as tarefas e atividades modernas. Porém, apesar de todos os benefícios incontestáveis, esta requer cuidados especiais, pois os perigos não atingem somente os profissionais na área da eletricidade, mas qualquer pessoa que interaja com instalações elétricas. Qualquer utilizador pode estar sujeito a acidentes que podem ser fatais.

Ao longo do tempo a proteção de pessoas e bens tem ocupado, cada vez mais, um lugar de destaque e de importância crescente a ter em consideração em qualquer projeto onde seja previsível a interação das mesmas, nomeadamente no projeto de instalações elétricas. As normas e regras em vigor contemplam este indispensável aspeto como é o caso da CEI 60364 (Comissão Eletrotécnica Internacional) e RTIEBT (Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão) que são abordadas nesta dissertação. É fundamental que os utilizadores que usufruem de uma instalação elétrica estejam, em qualquer situação de normal utilização, protegidas de um eventual choque elétrico, provocado por um defeito de isolamento ou de um defeito à terra, que coloque a sua vida em risco.

É importante, na conceção deste tipo de instalações, a necessidade de identificar casos em que a vida de pessoas possa ser colocada em risco de modo a que possam ser contornados e as pessoas salvaguardadas. É crucial, por exemplo, manter a continuidade de serviço em blocos operatórios e de anestesia em hospitais ou clínicas, também o é, de igual modo importante, manter a continuidade no fornecimento de energia em instalações de iluminação de emergência em espaços recebendo público. É impensável que em qualquer destes casos referidos haja uma falha de energia nas instalações, pois colocar-se-iam em risco muitas vidas humanas e as consequências poderiam ser desastrosas. Uma outra preocupação relevante é a proteção de bens contra eventuais riscos de incêndio provocados por um defeito elétrico, que nos dias de hoje, infelizmente, ainda acontecem. Estes casos são alguns dos exemplos em que é essencial a escolha acertada do regime de neutro a utilizar. Há situações em que a legislação indica sobre qual o regime de neutro indicado não havendo outra hipótese de escolha, mas

noutros casos particulares, não legislados, é necessário analisar bem a instalação e escolher qual o regime de neutro que melhor se adapta em cada situação.

Os regimes de neutro são o resultado de uma evolução orientada no sentido de melhorar a proteção de pessoas. Esta evolução é apresentada a seguir:

- De 1880 a 1920, o transporte e distribuição de energia elétrica eram realizados com neutro isolado. As linhas não possuíam isolamento mesmo na distribuição de baixa tensão e eram suportadas por isoladores. Nenhum ponto era colocado voluntariamente à terra. A tensão nas habitações domésticas era de 100/110V AC.
- Em 1882, uma recomendação da "Société Britannique des Ingénieurs Télégraphistes et Electriciens" indica que nas habitações com tensão superior a 60V AC deveria instalar-se os interruptores e os condutores de modo a que não haja risco de eletrização.
- Em 1923, em França, uma norma relativa às instalações elétricas impõe a ligação da massa dos aparelhos à terra. As carcaças fixas e móveis sujeitas a estarem não isoladas em instalações de corrente alternada de tensão superior a 150V, os eletrodomésticos fixos e portáteis de potência superior a 4kW, carcaças de esquentadores elétricos colocados em casas de banho, peças metálicas colocadas em locais impregnados de líquidos condutores e que caso haja algum defeito ficariam em tensão.

  Esta norma não dá nenhuma indicação sobre as condições de ligação à terra, nem sobre a resistência de terra prevista e não prevê nenhum dispositivo de proteção.

  Para evitar a fusão do fusível de proteção no 2º defeito de isolamento, colocou-se o primeiro controlador de isolamento em instalações industriais. Se uma das lâmpadas se apagar significa que há defeito entre a fase correspondente e a terra. Assim nasceu o primeiro regime de neutro: **neutro isolado**. Este controlador foi utilizado até 1955.
- Em 1951, os primeiros CPI (Controlador Permanente de Isolamento) de injeção de corrente contínua é instalado em minas para controlar o isolamento das fases e do neutro.
- Em 1962, fabricam-se os primeiros CPI de transístores.
- Em 1972 fabricam-se os primeiros CPI de injeção de corrente alternada de baixa frequência.
- Em 1927, um decreto obriga, em França, a ligação do neutro do transformador de distribuição pública à terra (tensão maior ou igual a 150V CA).
- Em 1935, um decreto de proteção de trabalhadores expõe o risco inerente ao defeito de isolamento. Neste momento surge a associação "ligação à terra de recetores e de dispositivos de corte automático". Sendo que estes últimos podem ser fusíveis, diferenciais ou relés voltimétricos de tensão massa/terra.

  Os primeiros disjuntores diferenciais fabricaram-se em 1954. Assim nasceu o **regime de neutro à terra** em França.
- Em 1973, um decreto do ministério do trabalho autoriza a utilização de **proteção pelo neutro**. A proteção pelo neutro é utilizada em vários países (não em França) em iluminação pública. Protege pessoas de contatos indiretos e exige um controlo rigoroso da impedância

para se estar seguro da atuação do dispositivo de proteção contra curto-circuito que deve desligar a parte em defeito nos tempos legislados para proteção de pessoas.

O grande objetivo de um bom projeto elétrico é, não só, o de minimizar os custos de conceção, como também nunca deixar de parte, retirar ou desvalorizar o aspeto da proteção de pessoas, ao qual, pelo contrário, deve ser dada a maior relevância. Um projeto elétrico pode até cumprir o seu objetivo fundamental, mas nunca será um bom projeto se não analisar em pormenor o aspeto da segurança, quer de pessoas, quer de bens.

Por forma a contornar ou a minimizar os riscos de choque elétrico, falha de energia e risco de incêndio é então importante saber analisar com pormenor a instalação elétrica, verificando a natureza das cargas elétricas, a necessidade de continuidade de serviço pretendida e o limite do nível de perturbação imposto pelos equipamentos mais sensíveis da rede. Com base nisto é apurada a escolha acertada sobre o regime de neutro, em baixa tensão, que mais se adequa a cada caso em particular. A dissertação debruça-se assim sobre esta importante temática e tem como principal objetivo o estabelecimento de um manual técnico de aconselhamento para o projetista das instalações elétricas, no qual irá estar presente um algoritmo que será concebido e implementado. Também será elaborada uma ferramenta que permitirá a consulta deste manual técnico em formato eletrónico (programa).

# Capítulo 2
# Importância do Regime de Neutro

## 2.1 – Introdução

O sistema trifásico de baixa tensão é composto por 3 tensões simples, as quais são medidas entre cada uma das fases e o neutro (ponto comum). Em regime simétrico essas tensões estão desfasadas entre si de $120^0$ e têm o valor de $\mathrm{Uc}/\sqrt{3}$, sendo o $\mathrm{Uc}$ a tensão composta verificada entre fases.

É considerado como ponto neutro o ponto comum entre os três enrolamentos do secundário do transformador quando montados em estrela, podendo este ser acessível ou não, distribuído ou não. Por razões económicas, em média tensão, o neutro não é distribuído. O neutro é criado novamente no último transformador da rede de distribuição de baixa tensão. Neste último transformador o ponto de neutro pode ser ligado, ou não, à terra, consistindo este fato no chamado regime de neutro. A ligação do neutro à terra permite proporcionar uma referência comum para as tensões do sistema. A terra apresenta, em condições normais, o mesmo potencial em todos os pontos, podendo ser considerada potencial neutro ou zero em relação ao qual se medem todas as outras tensões. O potencial de terra mantém-se uniforme porque existe uma certa condutividade do solo, a qual tende a uniformizar a distribuição de cargas eletrostáticas na sua superfície. Sob condições impostas externamente, como nuvens carregadas eletrostaticamente, podem ocorrer acumulações de cargas simétricas na terra, fazendo assim com que o potencial deixe de ser uniforme.

O neutro pode ser ligado diretamente à terra, ou por intermédio de uma resistência, de uma reatância ou simplesmente isolado. No primeiro caso dizemos que há um neutro direto à terra, no segundo caso dizemos que há um neutro impedante e no terceiro dizemos que há um neutro isolado. Não existe um nível de neutro de referência, considerado ideal. São considerados equivalentes ao nível da segurança de pessoas contra os contatos indiretos, no entanto apresentam as suas vantagens e inconvenientes ao nível da segurança da instalação de BT, a nível económico, disponibilidade de energia e manutenção da instalação.

A importância dos regimes de neutro é, como já foi sendo dito desde o capítulo 1: a garantia de proteção de pessoas, a segurança de bens, disponibilidade de energia, a exploração da instalação. A utilização de qualquer um dos regimes de neutro depende do tipo de recetores da instalação, da importância ou não da continuidade de alimentação, da existência ou não de equipa de manutenção, das características da rede entre outras características.

## 2.2 – Causas de Falha de Isolamento

De modo a garantir a proteção de pessoas e a disponibilidade contínua de serviço, os condutores ativos e todas as partes da instalação que possam ser energizadas devem ser isoladas das massas dos respetivos aparelhos, as quais por sua vez estão ligadas à terra.

O isolamento é efetuado através de materiais isolantes, da distância que pode necessitar de um isolamento a gases ou por linhas de fuga (como é o caso dos isoladores entre as linhas e apoio). O isolamento caracteriza a performance de determinado isolante (material), assim sendo um isolamento é caracterizado por tensões máximas suportáveis que são aplicadas a equipamentos.

Uma instalação realizada conforme as regras e sendo os produtos empregues fabricados conforme as normas, corre um risco muito baixo de falha de isolamento. Este fato é invertido à medida que a instalação envelhece, crescendo o risco à medida que os anos avançam.

Também são causas de falha de isolamento a deterioração mecânica do isolante aquando da instalação, a deposição de poeiras mais ou menos condutoras, o desgaste térmico do isolante provocado por temperatura elevada do clima, harmónicos, etc, as forças eletrodinâmicas durante um curto-circuito que além de danificarem os cabos podem diminuir a distância de isolamento entre os mesmos, as sobretensões de manobra ou devidas a descargas atmosféricas.

De um modo geral, nos vários regimes de neutro, as falhas de isolamento ocorrem em modo comum (entre condutores ativos e massa ou terra) e principalmente nos recetores e cabos.

## 2.3 – Riscos provenientes da falha de isolamento

Qualquer que seja a causa da falha de isolamento, esta pode representar perigo para a vida das pessoas, para os bens e para a continuidade de serviço.

## 2.3.1 – Risco do choque elétrico no corpo humano

O choque elétrico é o efeito resultante da passagem da corrente elétrica através do corpo humano. Dependendo do tempo de passagem (t) da corrente, da intensidade (I) da mesma e da frequência (f) maiores ou menores serão os efeitos da corrente elétrica sobre o corpo. A intensidade de corrente que percorre o corpo depende da resistência do corpo, da tensão de contato ($U_C$) e das condições em que se estabelece o contato (pele seca, húmida, molhada). O percurso da corrente no corpo também pode se determinante nos efeitos da passagem da corrente. O mais comum é o percurso entre a(s) mão(s) e os pés. Assim a $R_{corpo}=(R_{epiderme}+R_{interna})$, onde a epiderme é a entrada da corrente no corpo, sendo que o seu estado (pele fina, calejada, etc) influencia o valor da resistência. O fator que mais faz variar a resistência é a humidade, sendo a situação de pele imersa a situação de resistência mínima. A resistência interna é essencialmente a resistência dos próprios tecidos, variando esta com a quantidade de água contida neles. O valor de resistência pode variar entre 200Ω e 5000Ω.

Os riscos graves poderão ser: a tetanização (contração muscular), a paragem respiratória, a fibrilação ventricular (desorganização completa do ritmo cardíaco) e queimaduras (são os efeitos da passagem da corrente elétrica que podem ter vários graus de gravidade) (ver figura e tabela 2.1).

A impedância do corpo humano, como foi dito anteriormente, varia conforme o ambiente em que se insere (húmido, seco, molhado). A tensão de segurança (CA) que deve ser salvaguardada para cada um dos casos é: $U_L$=50V para locais húmidos e secos e $U_L$=25V locais molhados ($U_L$=12V para piscinas). Para locais húmidos e secos o tempo máximo de corte do dispositivo de proteção (definido nas normas) para $U_C$=50V é de 5s e, quanto maior a tensão de contato, $U_C$, em relação a $U_L$ menor terá de ser o tempo máximo de corte do dispositivo. Para locais molhados e para $U_C$=25V o tempo máximo de corte (definido nas normas) é de 5s e, quanto maior o $U_C$ em relação a $U_L$ menor terá de ser o tempo de corte. Para $U_C \leq U_L$ a tensão $U_C$ é suportada sem riscos em permanência (t=∞), no entanto as normas exigem que os aparelhos de proteção atuem num tempo inferior a 5s, garantindo assim uma segurança acrescida.

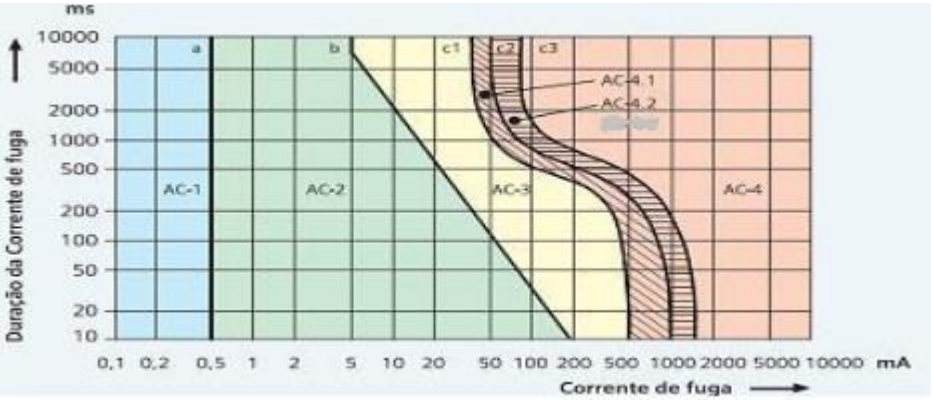



**Figura 2.1 –** Efeitos da corrente no corpo humano em função do tempo [14].

**Tabela 2.1 –** Descrição da figura 2.1.

| | |
|---|---|
| **Zona AC-1** | - Habitualmente nenhuma reação; |
| **Zona AC-2** | - Habitualmente nenhum efeito fisiológico perigoso; |
| **Curva b** | - Transição entre efeitos incipientes e efeitos sensíveis; |
| **Zona AC-3** | - Habitualmente nenhum dano orgânico grave. Há alguma probabilidade de contração muscular e de dificuldades respiratórias, assim como de transtornos reversíveis ao nível do coração; |
| **Curva c1** | – Transição entre não existência e existência de risco de fibrilação ventricular; |
| **Zona AC- 4.1** | - Probabilidade de fibrilação ventricular inferior a 5%; |
| **Zona AC - 4.2** | - Probabilidade de fibrilação ventricular inferior a 50%; |
| **Zona AC-4** | – Para além dos efeitos indicados para a zona AC-3, podem ocorrer queimaduras mais ou menos graves, paragem respiratória e cardíaca e risco de fibrilação ventricular (Probabilidade de fibrilação ventricular superior a 50%); |

## 2.3.2 – Risco de Incêndio

As instalações poderão ficar sujeitas, quando submetidas a situações anormais de exploração, a situações de: sobretensões, sobreintensidades, correntes de fuga e pontos fracos de contato. Se um incêndio se der as consequências poderão ser irreversíveis pelo que este é também um fator importante a ter em consideração aquando do projeto da instalação elétrica. Para se dar um incêndio basta ocorrer um dos casos anteriormente citados que, de um modo geral, tem como consequência o aquecimento excessivo de um cabo ou mesmo dar-se uma descarga através de um arco elétrico devido à falha de isolamento. Estes acontecimentos poderão aumentar a probabilidade de incêndio ou mesmo explosão no local quanto maiores forem as correntes que provocam a anomalia.

Foi demonstrado e aceite pelas entidades de normalização que o contato entre um condutor e uma peça metálica pode provocar o seu aquecimento e consequentemente um incêndio em locais sensíveis, quando essa corrente de defeito ultrapassar os 500mA (por exemplo em indústrias químicas).

Quanto ao risco de incêndio, com o regime de neutro isolado, é muito baixo no primeiro defeito e torna-se muito importante quando se dá o segundo defeito (equiparável ao perigo de um esquema TN) como poderemos verificar nos capítulos subsequentes. Quanto ao regime TT e TN a corrente de defeito é perigosa, podendo em TT: 5A < $I_d$ < 50A e em TN: 1kA < $I_d$ < 100kA. A potência envolvida sobretudo no regime TN é considerável e convém agir o mais rápido possível desde os mais baixos níveis de corrente para limitar a energia dissipada ( $\int R_d i^2 \, dt$ ). Estas correntes de defeito são eliminadas recorrendo a um aparelho diferencial no

caso do TT e recorrendo a aparelhos de sobreintensidades no caso do TN como verificaremos nos capítulos subsequentes, assim como, quais os RN que melhor se adequam para estes locais (com risco de incêndio ou explosão).

## 2.3.3 – Risco de não Continuidade de Energia Elétrica

Nos dias de hoje a indústria, a economia e tantas outras atividades são totalmente dependentes da energia elétrica. Podemos dizer, sem arriscar ao dizê-lo, que a energia elétrica move o mundo e a humanidade. Desde a mais simples tarefa de iluminar o nosso quarto até às que poderão ser mais exigentes, por exemplo, um processo industrial ou mesmo uma cirurgia, há energia elétrica envolvida pelo que a existência de corte de energia pode ter como consequência desde o simples transtorno até à fatalidade ou causar danos irreversíveis com prejuízos avultados. Tomando como exemplo a situação de uma cirurgia delicada a um paciente dentro de um bloco operatório, é impensável haver falhas de energia nesta situação, assim como numa indústria cujo processo de fabrico exija o equipamento constantemente em laboração correndo o risco de desperdiçarem horas para voltarem a entrar em serviço após uma situação de corte, provocando um prejuízo económico muito elevado pela não produção. A falha repentina de iluminação num edifício recebendo público pode instalar o pânico entre a multidão e provocar também consequências desastrosas.

Se a corrente de defeito na instalação for elevada há o desgaste prematuro na instalação e nos equipamentos a esta conetados, podendo aumentar os custos e tempos de reparação dos mesmos. As correntes elevadas que circulam entre fase e terra podem também provocar anomalias em equipamentos sensíveis. A falha de energia pode também provocar sobretensões e/ ou fenómenos de radiação eletromagnética podendo deste modo danificar os equipamentos sensíveis ou provocar desperdícios de matéria prima.

Estes são alguns dos exemplos em que é fundamental preservar a continuidade na alimentação de energia. É um dos aspetos fundamentais ao qual o projetista deve dar a devida importância e atenção.

Este risco é importante para o cliente, pois conduz a custos de não produção e de reparação que podem ser relevantes e que dependem naturalmente do regime de neutro utilizado.

Sendo D a disponibilidade e sendo uma grandeza estatística podemos verificar através da figura a seguir (figura 2.2) que esta equivale à relação entre dois períodos:

- tempo durante o qual a energia está presente;
- tempo durante o qual a energia está presente + tempo em que a energia está ausente.

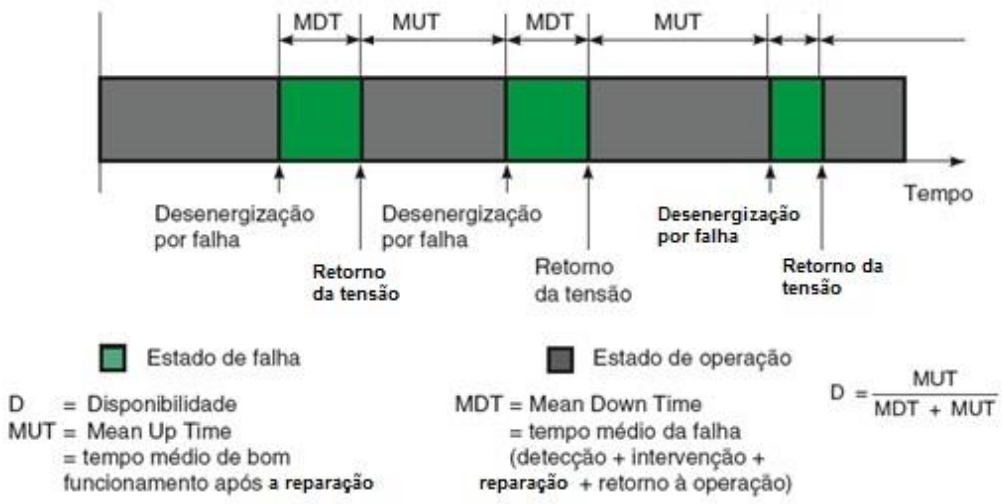

MDT
MUT
MDT
MUT
Tempo
Desenergização por falha
Desenergização por falha
Desenergização por falha
Retorno da tensão
Retorno da tensão
Retorno da tensão
Estado de falha
Estado de operação
D = Disponibilidade
MUT = Mean Up Time = tempo médio de bom funcionamento após a reparação
MDT = Mean Down Time = tempo médio da falha (detecção + intervenção + reparação + retorno à operação)
D = MUT / (MDT + MUT)

**Figura 2.2 –** Disponibilidade de energia [6]

## 2.4 – Contatos diretos e indiretos

### 2.4.1 – Tensão de contato

Considerando um determinado defeito de isolamento num recetor da instalação, onde acidentalmente uma fase entra em contato com a massa do equipamento estabelece-se uma corrente de defeito ($I_f$) entre a massa do recetor e a terra (ver figura 2.3). Qualquer pessoa que entre em contato com essa massa irá estar sujeita a uma diferença de potencial ($U_c$), denominada por tensão de contato:

$$U_C = R_M \times I_f \tag{2.1}$$

Como para a corrente de defeito, a tensão de contato está diretamente ligada à impedância $Z_N$ (impedância de ligação do neutro à terra), logo ao regime de neutro. Assim, se o neutro for isolado a corrente de defeito ($I_f$) será bastante baixa, assim como a tensão de contato ($U_C$). O contrário se passará se o neutro for ligado diretamente à terra.

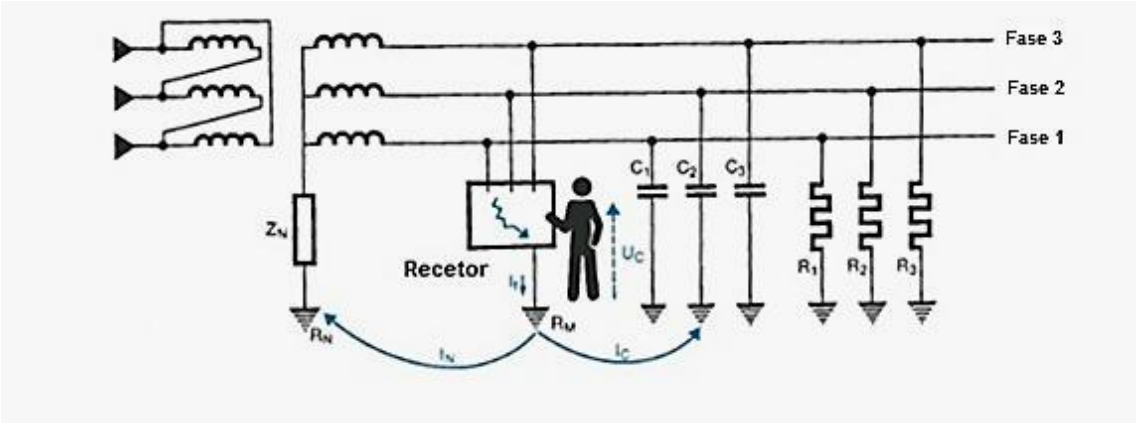



**Figura 2.3 –** Tensão de contato [1]**.**

Entende-se como massa de um equipamento qualquer elemento metálico que é suscetível de ser tocado, em regra isolado das partes ativas de um material ou aparelho elétrico, mas podendo ficar acidentalmente sob tensão. Como partes ativas entende-se condutores ativos e peças condutoras de um material ou aparelhos, que estão sob tensão em serviço normal. Os condutores ativos são condutores de corrente elétrica.

## 2.4.2 – Medidas de Proteção para Contatos Diretos

Os contatos diretos são aqueles que se caracterizam através do contato acidental (não deliberado) entre a pessoa e uma parte ativa (fase ou neutro ou outro componente energizado) sendo a corrente conduzida pelo corpo da pessoa que liga a parte ativa à terra (ver figura 2.4). As causas desses contatos podem ser por exemplo: a imprudência, a embriaguez.

Temos como medidas passivas contra os contatos diretos: o isolamento, barreiras de proteção, afastamento de partes ativas, uso de tensão reduzida de segurança (TRS). Como medida ativa temos o uso do dispositivo diferencial de alta sensibilidade ($I_{\Delta n}$ ≤30mA).

Estas medidas são independentes do regime de neutro adotado sendo necessária em todos os regimes.

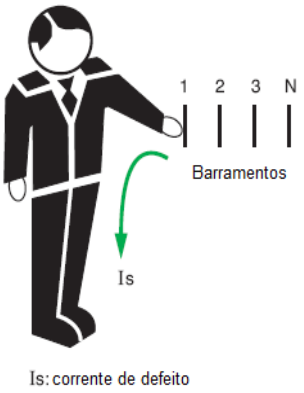



**Figura 2.4 –** Contato direto [3].

## 2.4.3 – Medidas de Proteção para Contatos Indiretos

Os contatos indiretos são aqueles que se caracterizam pelo contato entre uma pessoa e a massa de um equipamento que se encontra sob tensão devido a um defeito de isolamento (ver figura 2.5). Há uma corrente de defeito que circula e provoca a elevação do potencial entre a massa do equipamento e a terra. Há perigo se essa massa for tocada e se essa tensão de contato ($U_c$) for superior à tensão limite ($U_L$). Os tipos de contatos indiretos que podem existir são massa-massa, massa solo ou parede não isolante, massa-elemento condutor.

Temos como medidas passivas de proteção o uso de matérias de classe II de isolamento (equipamento), o uso de tensão reduzida de segurança (TRS), proteção por separação elétrica, inacessibilidade simultânea de elementos condutores e massas, proteção por isolamento de massas, uso de ligações equipotenciais. Como medida ativa temos a proteção por corte automático de alimentação.

As medidas de proteção contra contatos indiretos baseiam-se nos seguintes princípios: conexão à terra das massas de todos os equipamentos elétricos para evitar que se dê um contato direto em caso de defeito, equipotencializar as massas acessíveis simultaneamente e controlar o risco de defeito de isolamento através da prevenção (por exemplo medição do isolamento antes de energizar a instalação).

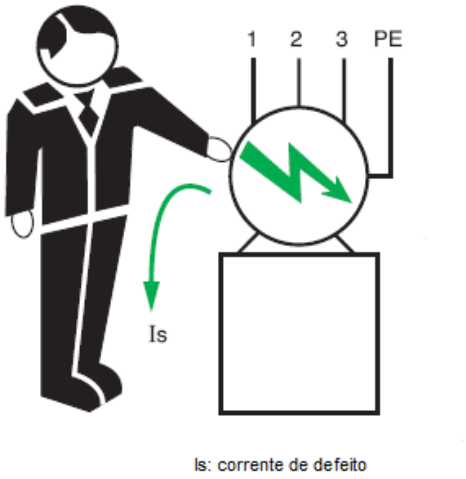



**Figura 2.5 –** Contato indireto [3].

# Capítulo 3
# Regimes de Neutro

## 3.1 – Introdução

Segundo as normas internacionais CEI 60364 a posição do neutro e das massas determina o regime de neutro de uma instalação de baixa tensão. O regime de neutro é conhecido pela utilização de uma sigla constituída por duas a três letras. A primeira letra indica a posição do neutro do transformador em relação à terra:

**T**: Terra - ligação à terra (terra de serviço) num ponto do sistema elétrico (normalmente o centro da estrela de um transformador MT/BT em Δ/Y);

**I**: Isolado - sistema com neutro isolado da terra ou impedante (ligado à terra com impedância de elevado valor);

A segunda letra indica a posição relativa das massas dos aparelhos conetados à instalação:

**T**: Terra - ligação das massas dos aparelhos de utilização à terra (terra de proteção);

**N**: Neutro - ligação das massas dos aparelhos de utilização ao neutro do transformador.

A terceira letra é aplicada ao sistema TN, que possui diversos subesquemas, e indica como estão ligados o condutor neutro (N) e o condutor de proteção elétrica (PE).

**C**: Combinado - neutro e proteção elétrica num só condutor (PEN);

**S**: Separado - neutro e proteção elétrica em condutores distintos;

A conjugação das letras forma assim, segundo as normas CEI 60364, três esquemas normalizados: TT, TN, IT. O esquema TN tem ainda diversos subesquemas que são: TN-C, TN-S e TN-C-S (neste último trata-se da combinação de TN-C e TN-S na mesma instalação onde apenas é permitido a montagem TN-S ficar a jusante da montagem TN-C).

Cada regime de neutro pode ser aplicado numa instalação na sua totalidade, mas numa mesma instalação podem coexistir os vários esquemas (ver figura 3.1).

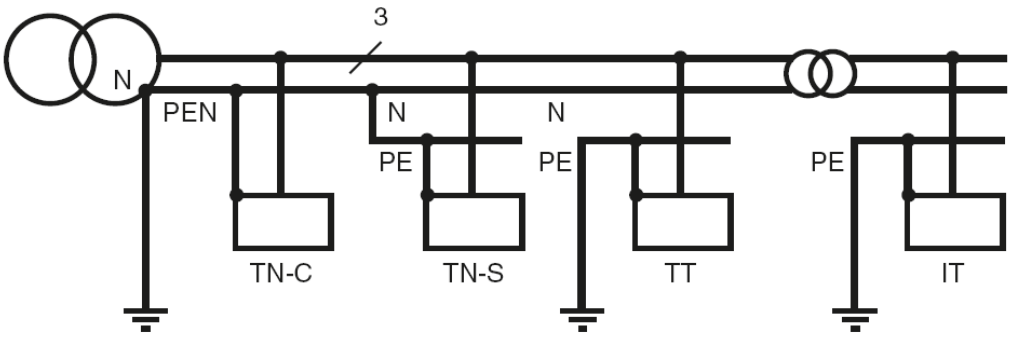



**Figura 3.1 –** Exemplo de vários regimes de neutro coexistindo na mesma instalação [6].

Para uma dada rede o regime de neutro desempenha um papel muito importante. Após um defeito de isolamento ou um contato acidental entre uma fase e a terra, o valor tomado pela corrente de defeito, as tensões de contato e as sobretensões estão diretamente ligados ao regime de neutro implementado.

O principal objetivo da ligação à terra é: facilitar a deteção do defeito e a posterior eliminação; limitar fortemente as sobretensões transitórias; respeitar os regulamentos relativamente à segurança de pessoas;

A ligação à terra gera no entanto correntes de defeito importantes.

O neutro isolado, por sua vez, limita as correntes de defeito, mas favorece o aparecimento de sobretensões elevadas.

A garantia de continuidade de serviço após o primeiro defeito depende da escolha do regime de neutro. Para esta garantia, em baixa tensão e mesmo em alta tensão, é necessário que o neutro seja isolado. Já com o neutro à terra é necessário que a corrente de defeito seja eliminada logo após o primeiro defeito. Assim o equipamento que esteja instalado numa rede com neutro à terra e após o defeito de isolamento, os estragos serão tanto maiores quanto maiores forem as correntes de defeito. O mesmo equipamento instalado numa rede com neutro isolado ou fortemente impedante, após um defeito de isolamento, os estragos serão menores, mas este equipamento deve ter um nível de isolamento para as sobretensões adequado ao tipo de rede.

A escolha do regime de neutro está então dependente da natureza da instalação assim como da rede e é influenciada pela natureza dos recetores e pela necessidade de continuidade de serviço.

## 3.2 – Resistência e Capacidade de fuga entre cada Fase e a Terra

Em baixa tensão está sempre presente uma resistência de fuga entre cada uma das fases e a terra. Admite-se que uma rede está corretamente isolada quando a resistências de fuga à

terra ($R_1$,$R_2$,$R_3$) são pelo menos iguais a 1000 Ω/V. E numa situação de correto isolamento é admitido sempre que $R_1$=$R_2$=$R_3$=R.

Também é necessário ter em consideração a capacidade entre cada fase e terra ($C_1$,$C_2$,$C_3$). O valor é proporcional ao comprimento dos cabos. Em baixa tensão o valor é da ordem de 0.25 μF por fase e por quilómetro. É admitido sempre que: $C_1$=$C_2$=$C_3$=C.

Uma rede de baixa tensão é sempre caracterizada por (ver figura 3.2):

- Uma resistência de isolamento R;
- Uma capacidade C entre cada uma das fases e a terra;
- Uma resistência de ligação do neutro à terra de valor $R_N$;
- Uma resistência de ligação das massas à terra de valor $R_M$;

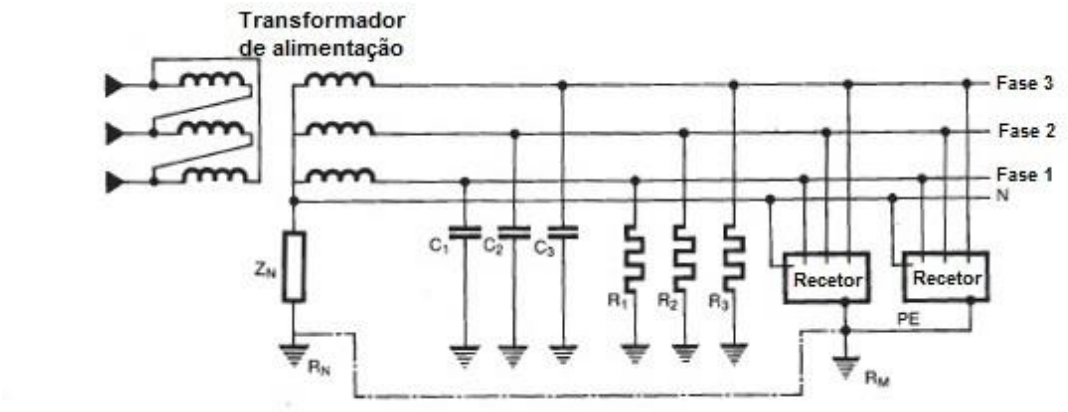



**Figura 3.2 –** Esquema equivalente de uma rede [1].

## 3.3 – Regime de Neutro e Corrente de Defeito

Considerando uma rede trifásica de baixa tensão como a da figura 3.3 o regime de neutro depende do valor e da natureza da impedância $Z_N$, sendo este a impedância de fixação à terra do neutro [1].

- Se $Z_N$ é próxima de zero, o neutro está ligado diretamente à terra;
- Se $Z_N$ tem um valor extremamente elevado, o neutro é isolado ou fortemente impedante.
- Se $Z_N$ tem um valor baixo, mas diferente de zero diz-se que o neutro é impedante. A impedância pode ser uma resistência ou uma reatância.

Na ausência de defeito uma corrente baixa percorre as resistências e as capacidades de fuga. Nenhuma corrente circula através da impedância $Z_N$, sendo

$$V_N = Z_N \times I_N = 0 \quad (3.1)$$

Entende-se por resistências cada uma das resistências de isolamento de cada condutor de fase e por capacidades a capacidade de cada condutor de fase em relação à terra.

Supondo um contato entre uma fase e a terra estabelece-se uma corrente entre a fase em defeito e a terra, ($I_f$), que se fecha pela impedância $Z_N$ , ($I_N$), assim como pelas capacidades, ($I_C$), e resistências de fuga das fases não defeituosas ($I_R$).

$$I_f = I_N + I_C + I_R \tag{3.2}$$

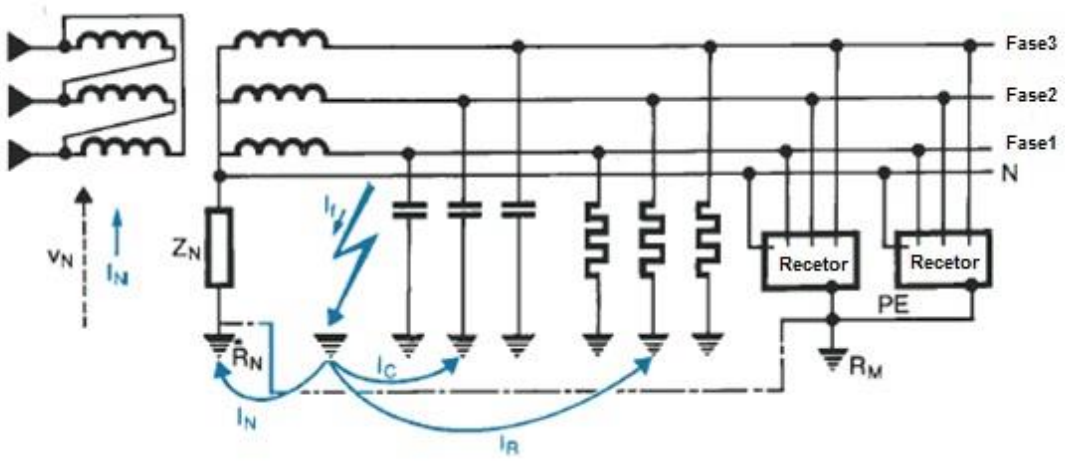



**Figura 3.3 –** Regime de neutro e corrente de defeito [1].

## 3.4 – Sobretensões

Na ausência de defeito a rede encontra-se sob regime permanente. O aparecimento de um defeito à terra, por exemplo, leva à modificação da estrutura da rede que evolui para outro regime permanente diferente do inicial. A alteração de regime é acompanhada de regimes transitórios durante os quais se podem desenvolver sobretensões importantes cujas amplitudes são caracterizadas pelos diferentes constituintes da rede, em particular pelas capacidades e pelo regime de neutro utilizado. Um neutro isolado da terra ou ligado a esta através de uma reatância favorece o aparecimento de sobretensões elevadas, por outro lado o neutro ligado diretamente à terra ou resistivo limita fortemente a amplitude das sobretensões [1].

## 3.5 – Regimes de Neutro Utilizados em Baixa Tensão

### 3.5.1 – Esquema de Ligação TT

Neste esquema o neutro do transformador encontra-se diretamente ligado à terra. As massas dos recetores encontram-se ligadas individualmente ou por conjuntos à terra (ver figura 3.4). Todas as massas protegidas pelo mesmo dispositivo de proteção (diferencial) deverão estar ligadas ao mesmo elétrodo de terra. O elétrodo de terra do neutro e das massas poderão ou não ser interligadas [1]. O neutro pode ou não ser distribuído. Nestas condições um defeito à terra irá fechar o seu circuito através do solo, fluindo pelo elétrodo terra de proteção e pelo elétrodo terra de serviço, sendo a corrente limitada pela resistência dos elétrodos terra mencionados.

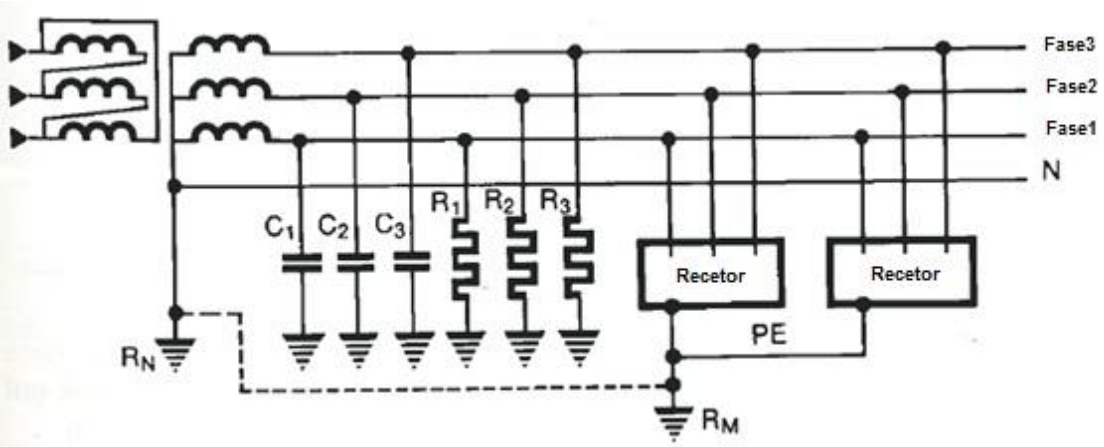



**Figura 3.4 –** Esquema de ligação TT [1].

### 3.5.2 – Esquema de Ligação TN

Neste esquema de ligação o neutro do transformador é ligado diretamente à terra. As massas dos recetores são ligadas ao condutor de neutro. No caso de qualquer defeito fase-massa, este torna-se efetivamente um curto-circuito fase-neutro, sendo eliminado por aparelhos de proteção contra sobreintensidades. Devido ao fato de toda a segurança deste regime assentar na garantia efetiva de ligação de todas as massas ao condutor de neutro (PEN), foi necessário prever um esquema adequado às condições em que se torna provável uma desligação acidental do condutor neutro/proteção. Podem então distinguir-se dois esquemas: num deles o condutor de neutro e o de proteção elétrica (PE) são o mesmo (TN-C), onde C significa combinado, no outro estes dois condutores são independentes (TN-S), onde S significa separado.

**No primeiro caso (TN-C)** o condutor de neutro e o de proteção elétrica são um único sendo este condutor conhecido por PEN (ver figura 3.6).

- É repartido uniformemente ao longo do condutor PEN ligações à terra a fim de evitar o aparecimento de potenciais elétricos nas massas dos aparelhos recetores que se encontram ligados a este, garantindo assim que o potencial permaneça o mais próximo possível do da terra. A ligação à terra referida deverá garantir uma resistência global do neutro tendo em conta a seguinte condição:

$$R_N \leq \frac{U_S}{U - U_S} \times R \qquad (3.3)$$

$R_N$ – Resistência global da terra do neutro;

$U_S$ - Tensão limite convencional;

U – Tensão convencional da rede;

R – Resistência de um eventual defeito fase – terra direto, sendo convencionalmente considerada de : 5Ω, para instalações com condutores nus ou 50Ω, para instalações com condutores isolados.

- O condutor PEN nunca deverá ser seccionado ou protegido.
- Em instalações fixas pode-se utilizar um só condutor com as funções de condutor de neutro e condutor de proteção, desde que o condutor de proteção tenha uma secção não inferior a 10mm$^2$, se de cobre e 16mm$^2$, se de alumínio e desde que esta parte da instalação TN-C não seja protegida por um aparelho diferencial, uma vez que o aparelho diferencial exige que o condutor de proteção seja separado.
- O TN-C é sempre montando a montante do TN-S, sendo a situação inversa não permitida, para evitar que o condutor de proteção seja percorrido em permanência por uma parte da corrente de funcionamento normal da instalação (ver figura 3.5).
- No esquema TN-C, o dispositivo capaz de garantir a proteção por seccionamento automático é necessariamente um dispositivo de proteção contra sobreintensidades.

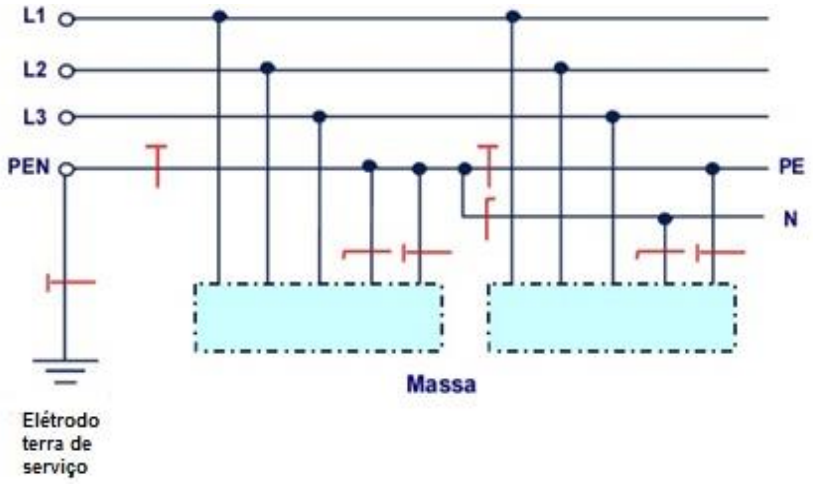



**Figura 3.5 –** Esquema de ligação TN-C-S.

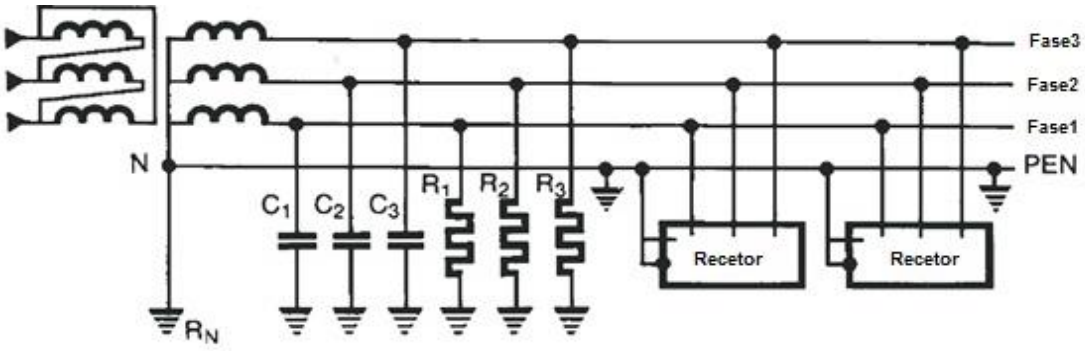



**Figura 3.6 –** Esquema de ligação TN-C [1].

**No segundo caso (TN-S)** o condutor de neutro e o condutor de proteção elétrica são separados (ver figura 3.7).

- São repartidos uniformemente ao longo do condutor PE ligações à terra a fim de evitar o aparecimento de potenciais elétricos nas massas dos aparelhos recetores, garantindo assim que o potencial permaneça o mais próximo possível do da terra.
- Este regime é utilizado nos circuitos derivados dos quadros parciais, além dos circuitos que necessitem especificamente de proteção diferencial como é o caso dos locais com risco de incêndio e de explosão, em que se considere inconveniente o aumento de temperatura provocado pela corrente elevada de um defeito.
- É obrigatória a utilização do sistema TN-S nas instalações amovíveis com condutores flexíveis ou constituídas por canalizações rígidas se a secção for inferior a $10mm^2$, se de cobre, ou $16mm^2$, se de alumínio.
- A partir do ponto da instalação onde é iniciada a instalação TN-S deixa de se efetuar a ligação direta do condutor neutro à terra. As ligações subsequentes devem ser efetuadas diretamente ao condutor de proteção.
- No esquema TN-S, o dispositivo capaz de garantir a proteção tanto pode ser o dispositivo de proteção contra sobreintensidades como o dispositivo de proteção diferencial.

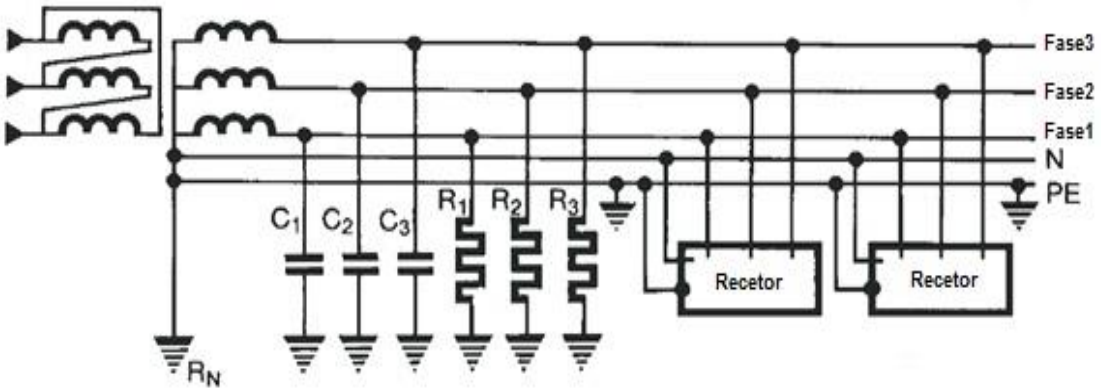



**Figura 3.7 –** Esquema de ligação TN-S [1].

Os esquemas anteriormente falados (TN-C e TN-S) podem ser agrupados numa mesma instalação (TN-C-S), mas um esquema TN-C (4 condutores) nunca pode estar a jusante de um esquema TN-S (5 condutores). No esquema TN-C a função de condutor de proteção prevalece sob a função de condutor de neutro. O condutor PEN deve sempre ligar ao borne de terra do recetor e deste existir uma ponte de ligação para o borne de neutro.

Na prática os dois esquemas coexistem geralmente numa mesma instalação, sendo utilizado o esquema TN-C na alimentação de quadros elétricos e o esquema TN-S nos circuitos terminais e naqueles em que existam condutores flexíveis. Os circuitos com condutores cuja secção seja inferior a $10mm^2$, se de cobre ou $16mm^2$, se de alumínio e cabos flexíveis têm sempre um condutor de proteção distinto do condutor de neutro (TN-S). Este esquema é também usado no caso em que, para a diminuição de riscos de explosão e incêndio ou mesmo para a proteção de um recetor, é necessária a instalação de aparelho diferencial.

## 3.5.3 – Esquema de Ligação IT

Neste esquema o neutro do transformador encontra-se isolado da terra ou ligado a esta através de uma impedância de valor elevado (aproximadamente 1700Ω). A impedância serve para reduzir as variações de potencial entre a rede e a terra que tenham a sua origem em perturbações provenientes da MT e das flutuações de potencial da terra local. Esta impedância é recomendada em redes de pouca extensão que alimentam aparelhos de medida sensíveis a este potencial assim como para redes que alimentam aparelhos de comunicação (ver figura 3.8).

As massas dos recetores são interligadas quer totalmente, quer em par de grupos de recetores. Cada grupo interligado é conetado à terra. É também possível que uma ou mais massas sejam ligadas à terra separadamente. Sempre que possível é recomendado que se interliguem todas as massas de uma mesma instalação e que se liguem à mesma ligação de terra a não ser que estas estejam distantes umas das outras ou que se situem em edifícios diferentes. Cada grupo de massas ligadas à mesma terra e cada massa ligada individualmente à terra devem ser protegidos por um dispositivo de proteção de defeito entre fases (disjuntores ou fusíveis) ou, no caso dos recetores se encontrarem muito longe tornando possível a não deteção da corrente de defeito (em caso de defeito) devem estes ser protegidos por um disjuntor diferencial.

As ligações à terra do neutro e das massas podem ser interligadas ou não.

É desaconselhada a distribuição do neutro (ver o porquê na secção 6.2.4.).

É obrigatória a instalação de um limitador de sobretensões entre o ponto de neutro do transformador e a terra. Se o neutro não é acessível o limitador de sobretensões é ligado entre uma fase e a terra. Este assegura o escoamento para a terra das sobretensões de origem externa transmitidas para o transformador e protege a rede de baixa tensão contra as

elevações de tensão resultantes do escorvamento entre os enrolamentos de alta tensão e baixa tensão do transformador.

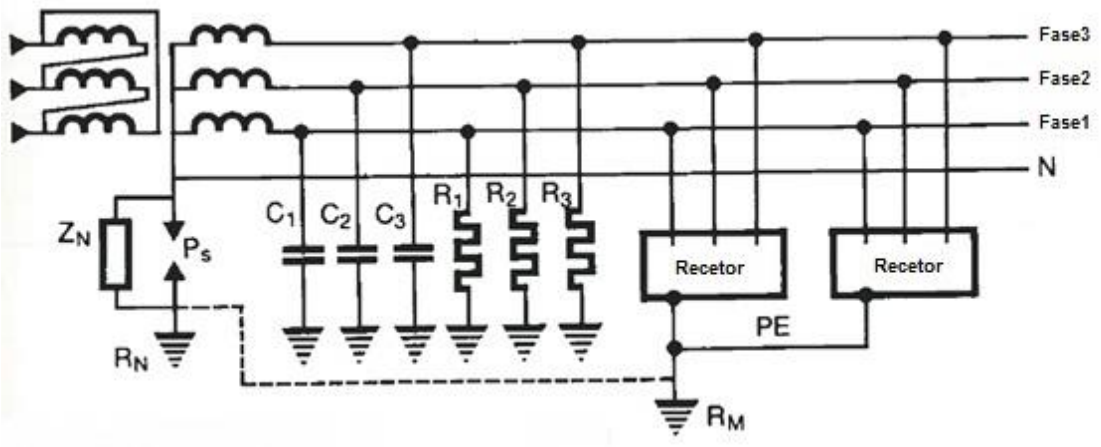



**Figura 3.8 –** Esquema de ligação IT [1].

# Capítulo 4
# O Perigo do Contato Direto em Cada Regime de Neutro

## 4.1 – Introdução

No capítulo 2, secção 2.4, foi descrito em que consistiam as tensões de contato e o significado de contato direto e indireto. Neste capítulo pretende-se descrever os perigos do contato direto em cada um dos regimes de neutro normalizados para baixa tensão: TT, TN, IT.

## 4.2 – Perigo de Contato Direto em Esquema de Ligação IT

Quando se dá um contato direto de uma pessoa com uma fase, a corrente que é suscetível de atravessar o corpo humano fecha-se pelas resistências de isolamento e pelas capacidades entre os condutores e a terra das outras duas fases. O homem vai estar sujeito a uma corrente que depende diretamente da resistência de isolamento e da capacidade entre as outras duas fases e a terra.

### 4.2.1 – Caso de uma rede isolada e de pequena extensão

As capacidades fase/terra são muito pequenas e as resistências de isolamento tomam um valor importante. Nesta situação a corrente suscetível de percorrer o corpo humano, no caso de um contato direto, é muito pequena e sem perigo. Este aspeto é puramente teórico quando consideramos, por exemplo, para uma tensão de 400V entre fases, uma capacidade de 0.12µF, correspondendo a um cabo de baixa tensão com comprimento igual a 500m, a corrente que percorre uma resistência representativa do corpo humano (2000Ω) é de 26mA (ver figura 4.1). Verificamos que uma rede, mesmo sendo pouco extensa é considerada como perigosa.

Isolar o neutro não pode, em caso algum, ser considerado uma medida de proteção a adotar na proteção contra os contatos diretos.

## 4.2.2 – Caso de uma rede isolada e de grande extensão

O aumento da rede faz com que as capacidades fase/terra aumentem igualmente tornando assim a rede mais perigosa. Considerando uma capacidade de 1µF, correspondente a 4km de cabo de baixa tensão, com uma impedância de 3200Ω e admitindo que a resistência do corpo humano é de 2000Ω, todas as pessoas que entrem em contato com uma peça que esteja sob tensão é percorrida por uma corrente de 110mA e submetida a uma tensão de 220V (ver figura 4.1).

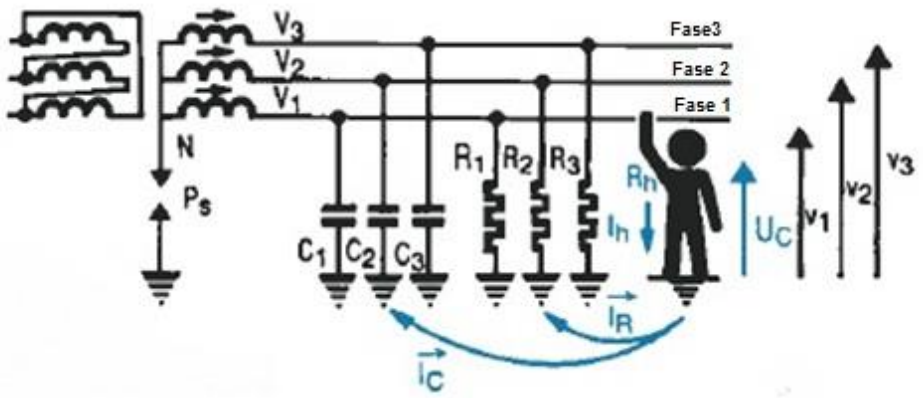



**Figura 4.1 –** Rede perfeitamente isolada-contato com a fase 1 [1].

## 4.2.3 – Caso de uma rede apresentando um defeito de isolamento

Supondo um defeito na fase 1 e se este **defeito for franco**, $R_1 \cong 0$, $R_2 = R_3 \geq 250k\Omega$. Os efeitos da capacidade e da resistência de isolamento das fases sãs são negligenciáveis. Uma pessoa que entre em contato com uma destas fases fica submetida à tensão composta da rede.

Se o defeito **não for franco**, $0 < R_1 << R_2$ e $R_3$ (ver figura 4.2). Neste caso ainda podemos negligenciar o efeito das capacidades e das resistências de isolamento das fases sãs. Assim, uma pessoa que entre em contato com uma das fases sãs fica submetida a uma tensão compreendida entre a tensão simples e a tensão composta.

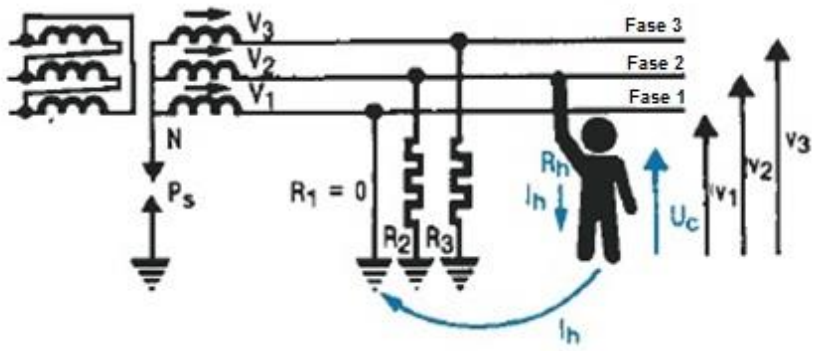



**Figura 4.2 –** Rede apresentando um defeito de isolamento na fase 1 [1].

## 4.2.4 – Caso de um contato com o condutor de neutro

Se uma rede está em funcionamento normal, o neutro está ao potencial da terra. Assim, qualquer pessoa que entre em contato com o condutor de neutro, não é submetido a uma diferença de potencial.

Se, pelo contrário, existe um defeito franco de uma das fases à terra, uma pessoa que entre em contato com o neutro fica submetida à tensão simples da rede.

Se o defeito é resistente, a pessoa é submetida a uma tensão compreendia entre 0 (zero) e a tensão simples da rede.

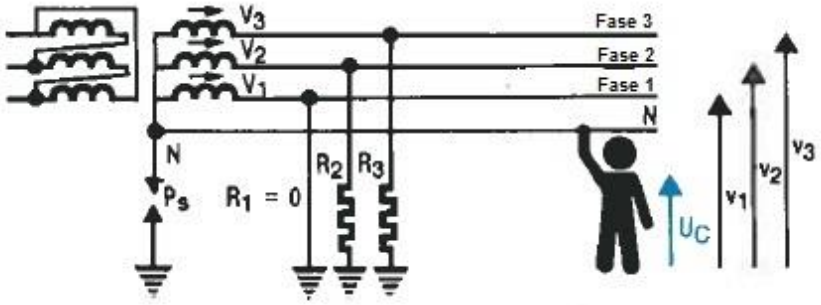



**Figura 4.3 –** Contato com o condutor de neutro [1].

## 4.3 – Perigo de Contato Direto em Esquema de Ligação TT ou TN

Neste caso o efeito das capacidades pode sempre ser negligenciado.

## 4.3.1 – Caso de uma rede bem isolada

($R_1$=$R_2$=$R_3$≥0.25MΩ)

A resistência de ligação à terra do neutro ($R_N$) é muito baixa comparativamente à resistência do corpo humano (2000Ω), não havendo assim uma elevação do potencial do ponto

de neutro. Uma pessoa que entre em contato com uma fase (fase1, neste caso) fica submetida a uma tensão simples (ver figura 4.4).

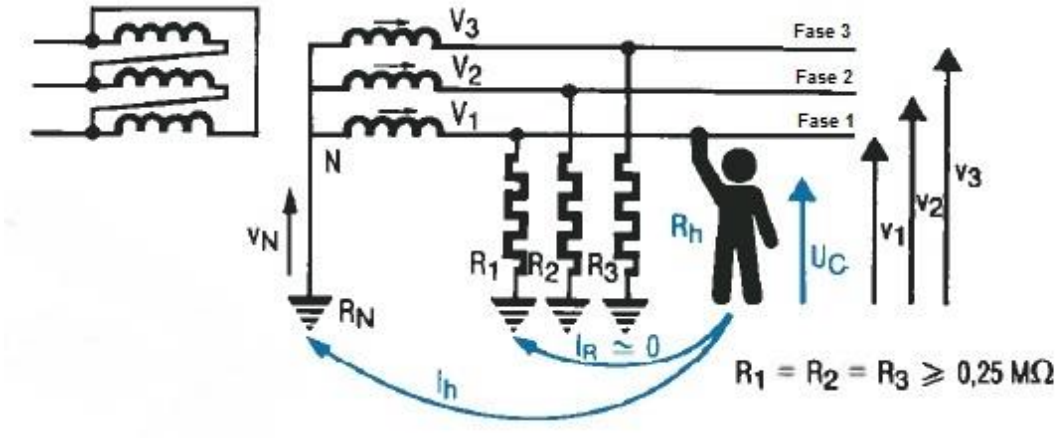



**Figura 4.4 –** Caso de uma rede bem isolada [1].

## 4.3.2 – Caso de uma rede com um defeito de isolamento numa das fases

No caso de haver um defeito de isolamento numa das fases (fase 1, neste caso), o valor da tensão a que fica submetida uma pessoa que entre em contato com uma das fases sãs (fase 2, neste caso) estará compreendido entre a tensão simples e a tensão composta da rede (ver figura 4.5).

Existem dois casos limite. No caso de não haver defeito de isolamento, a pessoa que entre em contato com uma das fases sãs fica sujeita a uma tensão simples. No caso de haver defeito franco de isolamento, uma pessoa que entre em contato com uma das fases sãs estará submetido a uma tensão composta.

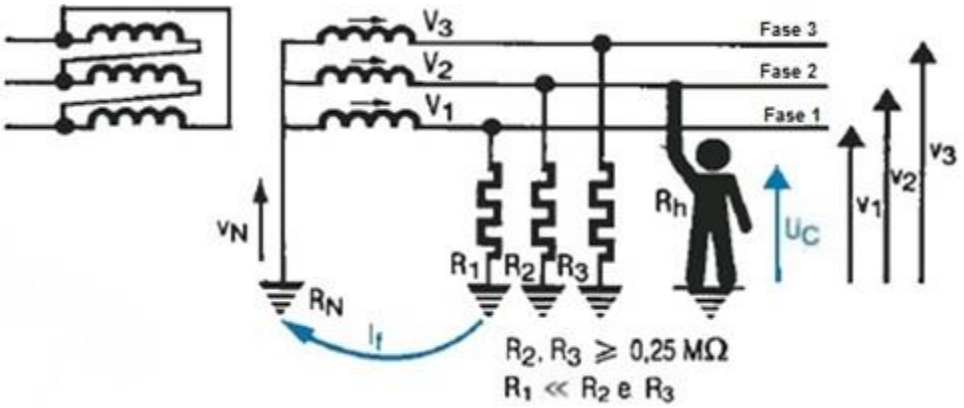



**Figura 4.5 –** Caso de uma rede com defeito de isolamento [1].

### 4.3.3 – Caso de um contato direto com o neutro

Na ausência de defeito de isolamento em qualquer uma das fases, o neutro está ao potencial da terra. Qualquer pessoa que entre em contato com este não estará sujeita a nenhuma diferença de potencial.

Se uma das fases apresentar um defeito de isolamento, uma corrente estabelece-se entre a terra e o ponto de neutro e assim é aumentado a um potencial $V_N$.

O valor de elevação do potencial do ponto de neutro vai depender da resistência de ligação à terra do neutro $R_N$ e da resistência do defeito. Qualquer pessoa que entre em contato com o neutro, nesta situação, estará, no máximo, sujeita à tensão simples (ver figura 4.6).

Assim, este tipo de regime de neutro TN exige que haja ligação à terra ao longo do condutor PE e PEN, a fim de o manter ao potencial de terra e evitar o aumento do potencial de terra nas massas dos aparelhos no caso de um defeito de isolamento numa das fases da rede.

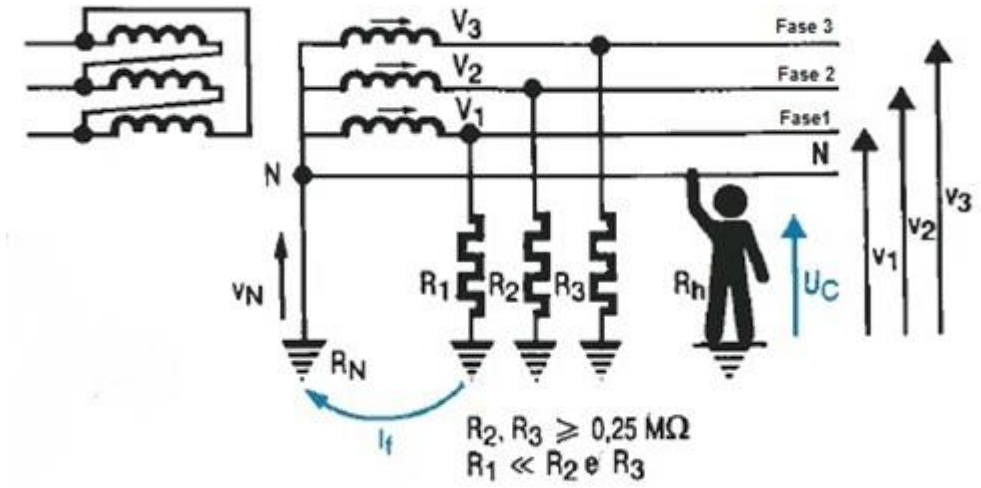



**Figura 4.6 –** Caso de um contato direto com o neutro [1].

# Conclusão

Qualquer que seja o regime de neutro da rede, ao dar-se um contato direto, este é sempre considerado perigoso. Contrariamente ao que se poderia pensar, o neutro isolado não oferece qualquer segurança no que diz respeito a este tipo de contato não podendo em nenhum caso ser considerado como um meio de proteção.

O contato com o neutro deve ser sempre considerado perigoso. O condutor neutro é um condutor ativo como os condutores de fase e, como estes, deve ser protegido contra os contatos diretos.

## 4.4 – Proteção contra os contatos diretos em baixa tensão

Podemos classificar os modos de proteção contra os contatos diretos em três categorias.

**Primeira categoria**

Utilização de dispositivos que tornam não perigoso o contato direto, pelo uso de tensão reduzida limitada a 50V (CA).

Esta medida consiste em alimentar os circuitos em tensão reduzida de segurança, no máximo 50V, fornecida por um transformador de segurança. Esta situação é apenas limitada a alguns casos particulares.

**Segunda categoria**

Utilização de meios preventivos destinados a colocar fora do alcance partes ativas sob tensão.

Estes meios de proteção são:

- proteção por isolamento das partes ativas (por exemplo uma caixa isolante ou revestimento isolante);
- a proteção por meio de barreiras é também uma medida de proteção bastante implementada por assegurar a proteção contra contatos diretos. Estes equipamentos devem possuir o grau de proteção de no mínimo IP2X; para a abertura de portas e gavetas é necessária: a utilização de uma chave ou instrumento, a colocação prévia fora de tensão das partes ativas; a interposição automática de uma proteção (ecrã) que só pode ser retirada com a ajuda de uma chave ou instrumento; as partes metálicas devem ser conetadas à terra;
- a proteção partilhada por meio de obstáculos ou colocação fora do alcance por afastamento.

Estas medidas não são consideradas uma proteção completa, no entanto são utilizadas nas instalações elétricas.

**Terceira categoria**

São medidas complementares que resultam na quebra de fornecimento de energia. Consistem na utilização de disjuntores diferenciais de alta sensibilidade.

Todas as medidas descritas anteriormente são de caráter preventivo e a experiência mostra que podem falhar por diversas razões:

- falta de manutenção;
- imprudência;
- utilização anormal de um isolante;
- contato acidental;

Uma medida para eliminar parte dos riscos acidentais consiste na utilização de dispositivos diferenciais de corrente diferencial de alta sensibilidade (≤ 30mA).

Estes dispositivos não dispensam a tomada de medidas de proteção precedente, mas asseguram uma proteção complementar, desligando a parte da instalação onde surgiu a corrente baixa de defeito à terra.

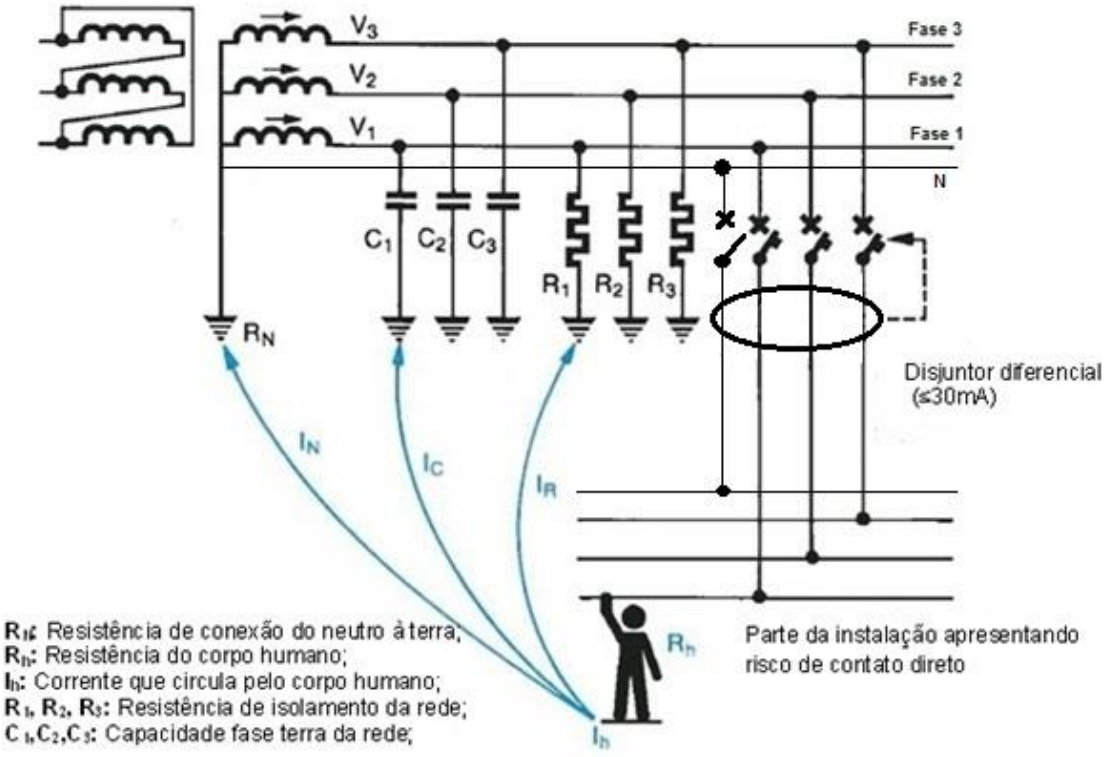



**Figura 4.7 –** Proteção de contatos diretos por dispositivo diferencial [1].

30 O Perigo do Contato Direto em Cada Regime de Neutro

# Capítulo 5
# O Perigo de Contato Indireto em Cada Regime de Neutro

## 5.1 – Introdução

No capítulo 2, secção 2.4, foi descrito em que consistiam as tensões de contato e o significado de contato direto e indireto. Neste capítulo pretende-se descrever os perigos do contato indireto em cada um dos regimes de neutro normalizados para baixa tensão: TT, TN, IT.

## 5.2 – Perigo de Contato Indireto em Esquema de Ligação IT

### 5.2.1 - Tensão de contato após o primeiro defeito de isolamento

Na medida do possível todas as massas de uma mesma instalação devem ser interligadas. No entanto as massas situadas longe umas das outras ou em diferentes edifícios não o devem ser.

Supondo uma rede inicialmente bem isolada, os valores das resistências de isolamento $R_1$,$R_2$,$R_3$ apresentam valor igual ou superior a 250kΩ. Dando-se um defeito de isolamento numa das fases, a corrente de defeito $I_f$ é limitada pela resistência $R_M$ e pela impedância apresentada pelos condutores relativamente à terra.

Supondo uma rede com condutores de 10km de extensão, a capacidade entre fase e terra de 2.5μF a corrente de defeito toma o valor de:

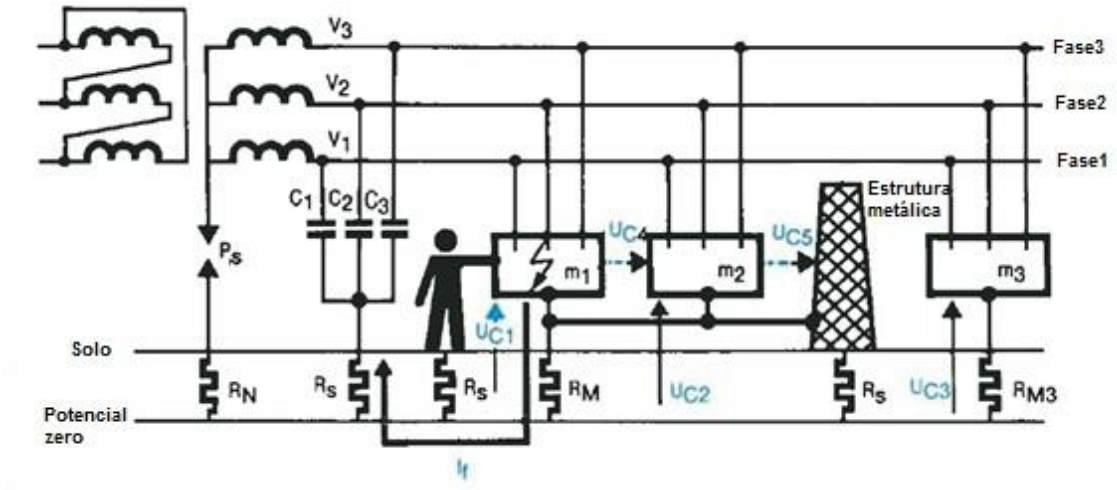
$$I_f = 3\ C\ \omega\ V \cong 542mA\ (V_{simples}=230V). \quad (5.1)$$

A influência de $R_M$ em comparação com a impedância das capacidades fase/terra é negligenciável. Se $R_M$=10Ω as massas interligadas apresentam um potencial:

$$U_C = R_M I_f = 10 \times 0.52 = 5.2V, \ (UC_1 \text{ e } UC_2 = 5.2V) \quad (5.2)$$

Este potencial não apresenta perigo. Como as massas estão interligadas não há tensão entre duas massas vizinhas simultaneamente acessíveis ($UC_4$ e $UC_5$ = 0V). O aumento do potencial de uma massa afastada não interligada é nulo ($UC_3$=0V).

Uma rede mesmo sendo extensa não apresenta perigo em presença de um 1º defeito de isolamento. A exploração da instalação pode continuar a ser feita, no entanto o defeito tem de ser sinalizado e investigado.




**$R_N$:** Resistência de ligação do neutro à terra;
**$R_M$:** Resistência de ligação de terra das massas;
**$R_S$:** Resistência do solo;
**$R_{M3}$:** Resistência de ligação de terra da massa afastada e não interligada;
**$I_f$:** Corrente de defeito;
**$C_1$,$C_2$,$C_3$:** Capacidade fase/ terra;
**$UC_1$, $UC_2$, $UC_3$, $UC_4$, $UC_5$:** Tensão de contato;

**Figura 5.1 –** Tensão de contato numa rede de neutro isolado após o primeiro defeito de isolamento [1].

## 5.2.2 - Tensão de contato após o segundo defeito de isolamento

Admitindo que se produz um segundo defeito de isolamento (agora na massa $m_2$) estabelece-se entre as massas $m_1$ e $m_2$ uma corrente de defeito $I_f$. Esta corrente circula através dos condutores de fase e dos condutores de proteção que interligam as massas. Esta corrente é apenas limitada pela impedância do anel de defeito ABCDEFGHIJ (ver figura 5.2).

Problema demonstrativo:

- Considerando o primeiro recetor ($m_1$) alimentado por um cabo de cobre de 50 $mm^2$, com um comprimento de 50m e o segundo recetor ($m_2$) alimentado por um cabo de cobre de 25$mm^2$ e 30m de comprimento;

- Os condutores de proteção de igual secção e igual comprimento;
- Impedância nula entre F e E;

Se negligenciarmos as reatâncias, a impedância do anel ABCDEFGHIJ será igual a:

$$Z = 2 \times [\rho \times \left(\frac{30}{25} + \frac{50}{50}\right)] = 2\times 21.56 \times 10^{-3} \times 2.2 = 94.86m\Omega \quad (5.3)$$

Com $\rho = 21.56 \times 10^{-3}\Omega.mm^2/m$ (resistividade do cobre a 30ºC)

$U_{BI} = 0.8 \times U = 400 \times 0.8 = 320V$, para se ter em conta as ligações AB e IJ, temos como corrente de defeito:

$$I_f = \frac{320}{94.86 \times 10^{-3}} = 4040A \quad (5.4)$$

A tensão entre as massa $m_1$ e $m_2$ é igual a:

$$Z_{DG} \times I_f = (Z/2) \times I_f = 191.62V \quad (5.5)$$

A massa $m_1$ apresenta um potencial de:

$$U_{m1} = \left(\rho \times \frac{50}{50}\right) \times I_f = 21.56 \times 10^{-3} \times 4040 = 87V \quad (5.6)$$

E a massa $m_2$:

$$U_{m2} = \left(\rho \times \frac{30}{25}\right) \times I_f = 21.56 \times 10^{-3} \times 1.2 \times 4040 = 104.5V \quad (5.7)$$

Nestas condições a massa $m_3$ não sofre elevação de potencial.

Dando-se um segundo defeito produz-se, numa massa situada longe e não interligada, uma corrente de defeito $I_f$ que se fecha pela terra e é limitada pelas resistências de terra $R_M$ e $R_{M3}$.

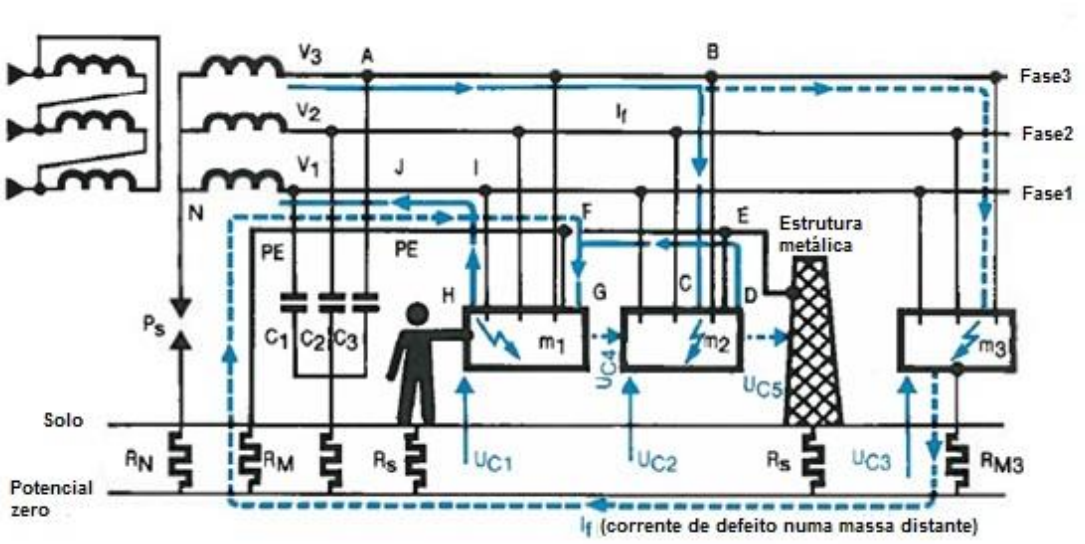
Considerando, por exemplo, $R_M$ = 10Ω e $R_{M3}$ = 15Ω as massas interligadas possuem um potencial de:

$$\frac{U}{R_M + R_{M3}} \times R_M = 160V \quad (5.8)$$

E a massa situada longe apresenta um potencial de:

$$\frac{U}{R_M + R_{M3}} \times R_{M3} = 240V \quad (5.9)$$

Em todos os casos são produzidas tensões perigosas e é necessário cortar a alimentação.




**$R_N$:** Resistência de ligação do neutro à terra;
**$R_M$:** Resistência de ligação de terra das massas;
**$R_S$:** Resistência do solo;
**$R_{M3}$:** Resistência de ligação de terra da massa afastada e não interligada;
**$I_f$:** Corrente de defeito;
**$C_1$,$C_2$,$C_3$:** Capacidade fase/terra;
**$UC_1$, $UC_2$, $UC_3$, $UC_4$, $UC_5$:** Tensão de contato;
**ABCDEFGHIJ:** Anel de defeito;
**----→:** Caso de um segundo defeito que se produz no recetor situado longe e cuja massa não é interligada

**Figura 5.2 –** Tensão de contato numa rede de neutro isolado após o segundo defeito de isolamento [1].

## 5.3 – Perigo de Contato Indireto em Esquema de Ligação TT

Na presença de um defeito de isolamento num recetor de uma instalação, desenvolve-se uma corrente de defeito $I_f$ que, sendo o elétrodo de terra do neutro e o elétrodo de terra das massas separados, ou seja, não interligados, essa corrente de defeito é limitada pelas resistências desses mesmos elétrodos de terra (ver figura 5.3):

$$I_f = \frac{V}{R_N + R_M} \tag{5.10}$$

V é a tensão simples da rede.

Supondo $R_N = 10\Omega$ e $R_M = 15\Omega$, vem que:

$$I_f = \frac{230}{10 + 15} = 9.2A \tag{5.11}$$

As massas interconetadas apresentam uma tensão de contato igual a:

$$U_{C1} = R_M \times I_f = 15 \times 9.2 = 138V \tag{5.12}$$

Sendo uma tensão perigosa que impõe o corte imediato da alimentação a fim de salvaguardar a segurança de qualquer pessoa que entre em contato com qualquer das massas dos aparelhos.

A tensão que aparece entre duas massas vizinhas, $m_1$ e $m_2$, é igual a:

$$U_{C4} \cong Z_{DE} \times I_f \tag{5.13}$$

Sendo o troço DE constituído por um cabo de cobre com 50m de comprimento e secção de 50mm$^2$ ($\rho = 21.56 \times 10^{-3}\Omega.mm^2/m$) então $Z_{DE} = 21.56 \times 10^{-3}\Omega$. Assim sendo:

$$U_{C4} = 21.56 \times 10^{-3} \times 9.2 = 0.198V \cong 0.2V \tag{5.14}$$

Este potencial não representa qualquer perigo para um contato acidental entre as 2 massas $m_1$ e $m_2$.

A massa $m_3$, visto não estar interligada com as outras, não sofre qualquer subida de potencial na sua massa.

Se o elétrodo de terra do neutro e o elétrodo de terra das massas forem interligadas a corrente de defeito não irá para a terra e a única impedância que limitará essa corrente de defeito será a impedância do anel que se formará aquando do mesmo defeito ABCDEFGH (ver figura 5.3). A corrente será muito elevada e o potencial nas massas dos recetores será muito perigoso. Supondo uma impedância do anel de 100mΩ a corrente de defeito será de:

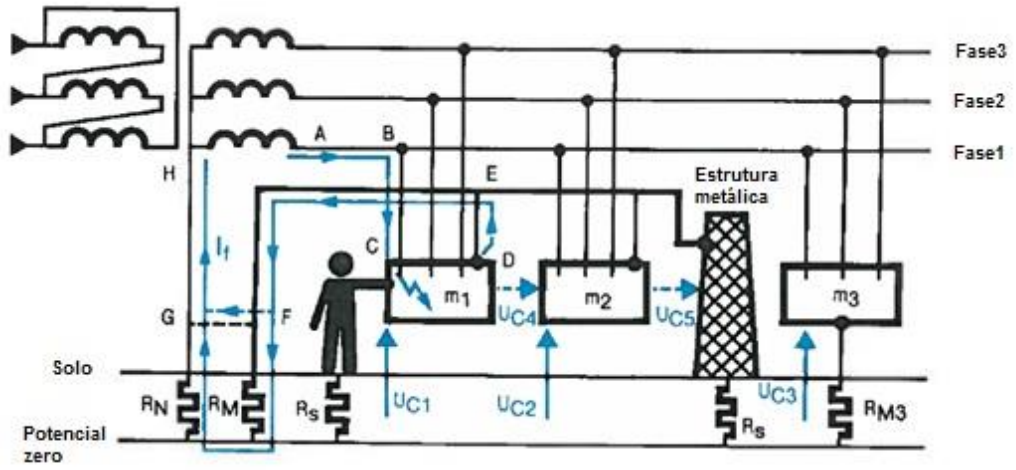
$$I_f = \frac{230}{0.1} = 2300A \tag{5.15}$$

Supondo agora que $Z_{DF} \cong Z_{anel}/2$ , então $m_1$ estará ao potencial de:

$$U_{C1} = 0.050 \times 2300 = 115V \tag{5.16}$$

Se $Z_{DE} \cong Z_{DF}/2$ , a tensão entre as massas $m_1$ e $m_2$ será de:

$$U_{C4} = 0.025 \times 2300 = 57.5V \tag{5.17}$$




**$R_N$:** Resistência de ligação do neutro à terra;
**$R_M$:** Resistência de ligação de terra das massas;
**$R_S$:** Resistência do solo;
**$R_{M3}$:** Resistência de ligação de terra da massa afastada e não interligada;
**$I_f$:** Corrente de defeito;
**$UC_1$, $UC_2$, $UC_3$, $UC_4$, $UC_5$:** Tensão de contato;
**ABCDEFGH:** Anel de defeito;

**Figura 5.3 –** Tensão de contato após o primeiro defeito de isolamento [1].

Verificamos, em todos os casos, que a tensão de contato após um primeiro defeito de isolamento, numa rede com regime de neutro TT, é perigosa. Assim a atuação das proteções após o primeiro defeito de isolamento é obrigatória. Se não houver interligação entre o elétrodo de terra do neutro e o elétrodo de terra das massas as correntes serão muito baixas e não farão disparar os dispositivos de proteção entre fases (disjuntor ou fusíveis). Neste caso é necessário um dispositivo de proteção diferencial.

Quando o elétrodo de terra do neutro e o elétrodo de terra das massas se interligam as correntes de defeito são mais elevadas.

Como nenhuma das disposições anteriores é obrigatória neste regime, independente do tipo pelo qual se opte, não é possível afirmar que o dispositivo de proteção contra defeitos entre fases atue. Assim torna-se obrigatório o uso de um dispositivo de proteção diferencial (ver figura 5.4).

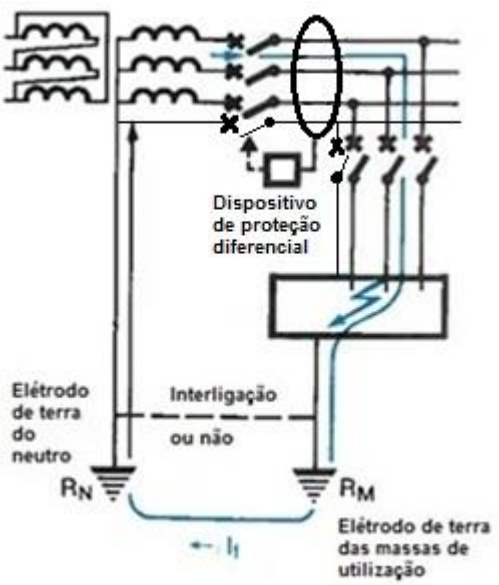
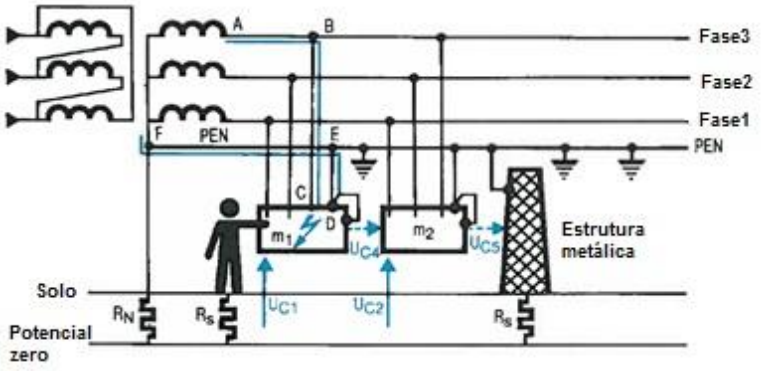



**Figura 5.4 –** Proteção por dispositivo diferencial. Esquema TT [1].

## 5.4 – Perigo de Contato Indireto em Esquema de Ligação TN

O princípio deste regime de neutro TN passa por ligar as massas dos recetores ao neutro provocando, em caso de defeito, um curto-circuito monofásico entre fase e neutro. A impedância deve-se apenas ao anel de defeito que se estabelece em caso de defeito de isolamento, sendo no caso do exemplo o anel Z=ABCDEF (ver figura 5.5).




**$R_N$:** Resistência de ligação do neutro à terra;
**$R_S$:** Resistência do solo;
**$UC_1$, $UC_2$, $UC_4$, $UC_5$:** Tensão de contato;
**ABCDEF:** Anel de defeito;

**Figura 5.5 –**Tensão de contato após o primeiro defeito. Esquema TN [1].

Considerando o recetor alimentado por um cabo de cobre de 50mm$^2$ e 50 metros de comprimento e o condutor de proteção com a mesma secção que os condutores de fase e negligenciando AB e EF temos que a impedância do anel será:

$$Z_{ANEL} = 2 \times 21.56 \times 10^{-3} \times \frac{50}{50} = 43 \times 10^{-3}\Omega \quad (5.18)$$

$V_{BE} = 0.8 \times 230 = 184$V, para ter em consideração as ligações AB e EF. Temos então a corrente de defeito:

$$I_f = \frac{184}{45 \times 10^{-3}} = 4269A \quad (5.19)$$

Se negligenciarmos o troço EF, então a massa estará sujeita a uma tensão de toque igual a $U_{C1} = Z_{DE} \times I_f$. Temos que:

$$Z_{DE} = \frac{Z_{ANEL}}{2} \quad (5.20)$$

Vem que:

$$U_{C1} = 21.56 \times 10^{-3} \times 4269 = 92V \quad (5.21)$$

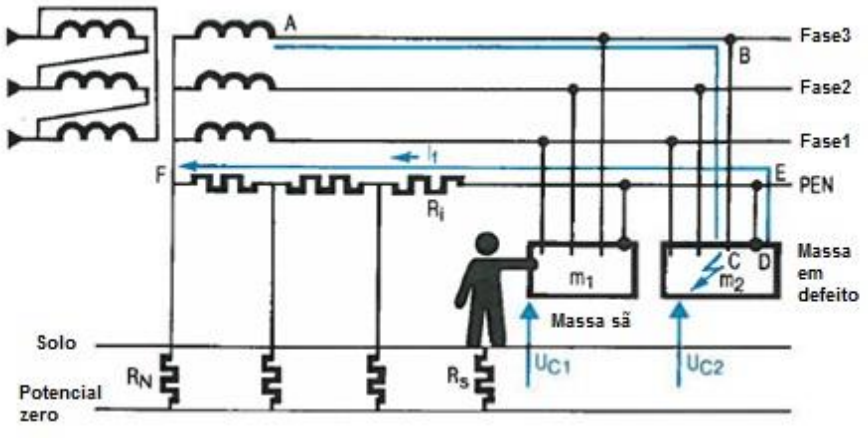
A tensão de contato $U_{C4}$ é igual à tensão $U_{C1.}$

Uma rede com esquema TN é perigosa ao primeiro defeito de isolamento. O corte de alimentação é obrigatório logo que se dê o defeito. As correntes são muito elevadas e é admitido que o corte é assegurado pelos aparelhos de proteção contra defeitos entre fases.

Se as ligações à terra forem regulares ao longo do condutor de proteção as massas sãs não estarão sujeitas a uma elevação de potencial aquando de defeito numa outra massa da mesma instalação. Nestas condições a tensão de contato que se desenvolve ao nível de uma massa sã é igual à queda de tensão na porção do condutor de proteção que vai desde a massa sã até à ligação à terra. Ora se a ligação à terra existe ao longo do condutor de proteção, o comprimento da porção do condutor de proteção anteriormente falado é muito pequeno quando

comparado com o anel de defeito, sendo a tensão de contato na massa sã muito próxima de zero (ver figura 5.6).

Assim $U_{C1}=R_i \times I_f$.




**$R_N$:** Resistência de ligação do neutro à terra;
**Ri:** Resistência da porção de condutor de proteção ligada entre a massa e a terra;
**$R_S$:** Resistência do solo;
**$I_f$:** Corrente de defeito;
**ABCDEF:** Anel de defeito;

**Figura 5.6 –** Tensão de contato ao nível de uma massa fora de defeito. Esquema TN [1].

## 5.5 – Proteção Contra Contatos Indiretos

### 5.5.1 – Proteção sem corte de alimentação

- ✓ **Implementação de muito baixa tensão de segurança**

Esta medida consiste em alimentar as instalações em tensão reduzida de segurança (no máximo 50V, CA). No entanto há medidas que devem ser respeitadas para tornarem esta medida eficaz na proteção de pessoas. Essas medidas são:

- ✓ As massas dos aparelhos alimentados em tensão reduzida de segurança não devem ser ligadas à terra, nem à massa de outros circuitos, nem a elementos condutores;
- ✓ As partes ativas do circuito em tensão reduzida de segurança e de outros circuitos alimentados em tensão mais elevada devem ter uma separação equivalente a pelo menos a distância que separa os enrolamentos do primário e secundário do transformador;

- ✓ Os circuitos alimentados em tensão reduzida de segurança devem ser instalados em canalizações distintas, utilizando cabos multipolares ou condutores isolados sob condutas isolantes prevendo uma tensão pelo menos igual à mais elevada das tensões dos outros circuitos;
- ✓ As tomadas não devem ter contato de terra. As fichas correspondentes a estas tomadas devem ser especiais de modo a evitar conetar aparelhos na instalação de maior tensão;

Quando a tensão é inferior a 25V esta medida é considerada uma proteção contra contatos diretos;

- ✓ **Separação de segurança dos circuitos**

Esta medida consiste em alimentar uma instalação através de um transformador de separação ou através de um transformador que apresente entre o enrolamento primário e secundário uma separação de segurança equivalente.

O transformador deve ser de classe II de isolamento. O objetivo deste é o de impedir que se forme caminho de retorno de corrente em caso de defeito de isolamento.

Para que tal não aconteça é necessário que:

- ✓ O circuito separado não deve ter nenhum ponto ligado à terra;
- ✓ O circuito separado deve ser pouco vasto para assim evitar a rotura de corrente pelas capacidades repartidas pelos cabos;
- ✓ O bom isolamento dos circuitos e dos recetores deve ser facilmente verificado pelo simples exame visual.

Estas condições fazem com que esta medida esteja limitada a um recetor. Para o caso de múltiplos recetores que são alimentados por um transformador de separação tem de respeitar as prescrições seguintes:

- ✓ As massas dos recetores devem estar interligadas através de um condutor de proteção, mas este não deve ser ligado à terra;
- ✓ As tomadas de ligação de recetores na instalação devem estar munidas de contato terra. Este serve para permitir a ligação entre as várias massas recetoras da instalação;
- ✓ Em caso de um duplo defeito de isolamento simultâneo, um dispositivo de proteção deve assegurar o corte de alimentação nas mesmas condições definidas para o regime IT;

- ✓ **Utilização de material de classe II**

Também conhecido como proteção de duplo isolamento é utilizado na sua maior parte em equipamentos portáteis (empunháveis normalmente). Esta medida consiste em aplicar um isolamento suplementar a um material elétrico que já tenha isolamento funcional (ver figura 5.7). Suprimindo assim a eventualidade de um risco de choque elétrico. Nenhuma parte condutora do material de duplo isolamento deve ser ligada ao condutor de proteção.

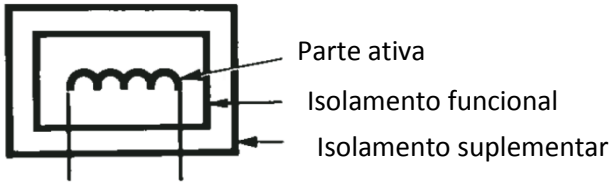



**Figura 5.7 –** Material de classe II.

- ✓ **Ligação equipotencial local sem ligação à terra**

Esta medida implica a ligação de todas as massas dos elementos condutores simultaneamente acessíveis impedindo o aparecimento de uma tensão perigosa de contato. Esta medida é aplicada a locais pouco extensos onde outras medidas são dificilmente aplicáveis permitindo que as pessoas que se encontrem nestes locais não sejam submetidas a diferenças de potencial perigosas.

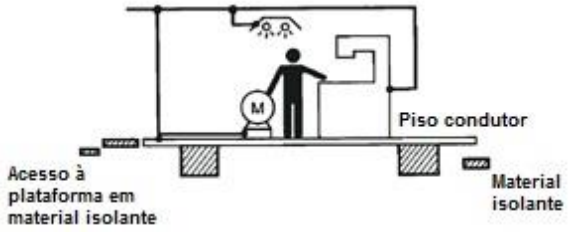



**Figura 5.8 –** Ligação equipotencial de todas as massas simultaneamente acessíveis.

- ✓ **Isolamento suplementar à instalação**

Consiste em realizar aquando da instalação um isolamento das partes ativas procurando uma segurança equivalente à dos materiais da classe II.

- ✓ **Afastamento e interposição de obstáculos**

Através desta medida torna-se diminuta a probabilidade de tocar simultaneamente uma massa apresentando um defeito de isolamento e um elemento condutor ligado à terra.

Esta medida é posta em prática tendo em conta as seguintes condições:

- ✓ As paredes e o chão do local devem ser isolantes;
- ✓ A disposição deve ser tal que uma pessoa não possa tocar simultaneamente duas massas ou entre uma massa e um qualquer elemento condutor.
- ✓ Nenhum condutor de proteção deve ser previsto assim como nenhum elemento condutor ligado à terra deve ser introduzido no local.
- ✓ O acesso das pessoas ao local deve ser concebido de tal forma que seja evitado colocar as pessoas a uma diferença de potencial perigosa.

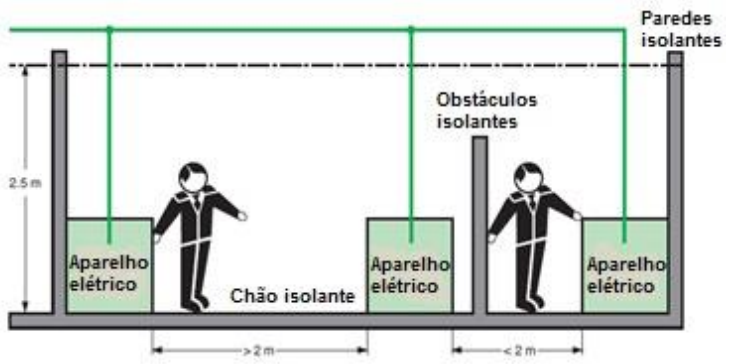



**Figura 5.9 –** Proteção por afastamento ou por interposição de obstáculos [3].

## 5.5.2 – Proteção com corte automático de alimentação

As medidas de proteção faladas anteriormente não contemplam o corte automático de alimentação. As medidas de proteção com corte automático assentam sobre dois princípios fundamentais, sendo estes:

- ✓ Ligação à terra de todas as massas de equipamentos elétricos e de todos os elementos condutores acessíveis de uma instalação. Duas massas ou uma massa e um elemento condutor simultaneamente acessíveis devem estar ligados ao mesmo elétrodo de terra. Esta medida visa reduzir a probabilidade do aparecimento de uma tensão perigosa no contato entre duas massas simultaneamente acessíveis.
- ✓ Colocação fora de tensão de uma instalação ou parte desta quando se produz um defeito de isolamento. Esta medida é feita de modo a que uma pessoa não seja submetida a uma tensão de contato $U_C$ superior à tensão máxima suportável pelo corpo humano tendo em conta o local onde esta se dá.

A escolha do dipositivo de proteção para uma determinada instalação depende do regime de neutro utilizado.

## 5.5.2.1 – Caso de uma Instalação com neutro isolado e massas à terra, IT

A instalação de neutro isolado deve satisfazer obrigatoriamente os seguintes pontos:

- ✓ As massas devem ser interligadas e ligadas à terra conforme é apresentado na figura 5.1.
- ✓ O isolamento deve ser visionado permanentemente por um dispositivo apropriado de modo a que o primeiro defeito seja sinalizado e posteriormente eliminado e se possa evitar o corte da alimentação com o aparecimento de um eventual segundo defeito de isolamento.
- ✓ O corte de alimentação deve produzir-se apenas com o segundo defeito o qual é efetuado por dispositivos de proteção contra defeitos entre fases.
- ✓ Descarregador de sobretensões que tem como objetivo limitar as sobretensões e escoar para a terra as sobretensões perigosas que possam aparecer (provocadas por descargas atmosféricas, sobretensões de manobra, etc).
- ✓ Controlo permanente de isolamento, os quais são aparelhos de injeção de corrente contínua. Um gerador aplica entre a rede e a terra uma tensão contínua que cria através das resistências de isolamento uma corrente de fuga independente das capacidades da linha.

**Mínimo obrigatório:**

(com localização de defeito simples por abertura sucessiva de circuitos da instalação) (esquema a)

(Esquema a)

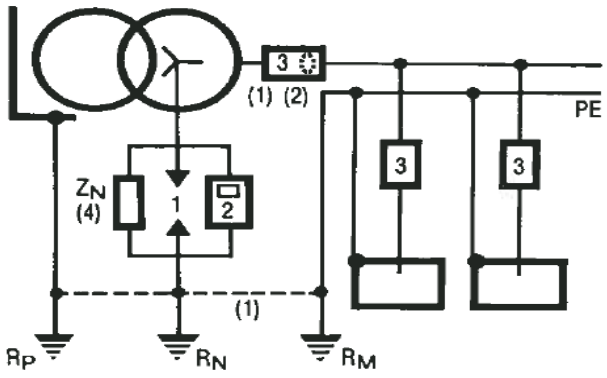



**Figura 5.10 –** Esquema a – IT [1]

Legenda (figura 5.10):

1 - Proteção contra sobretensões acidentais (Limitador de sobretensão);

2 - Controlo global de isolamento e sinalização do defeito (controlo permanente de isolamento);

3 - Corte de energia quando se dá defeito duplo (proteção clássica);

(com localização de defeito simples sem corte, com dispositivo de procura do defeito sob tensão) (esquema b)

(para além do que inclui o esquema (a), deverá também incluir o que se segue)

(Esquema b)

Legenda (figura 5.11):

4 - Gerador a 4Hz;
5 - Toro de referência;
6 - Recetor a 4Hz com comutador de seleção;
7 - Toro com sistema portátil;
8 - Pinça amperimétrica;
9 - Recetor portátil a 4Hz;

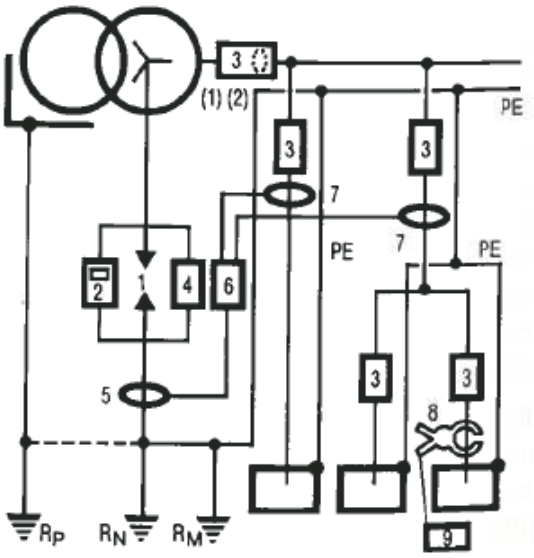



**Figura 5.11 –** Esquema b – IT [1]

Notas:

(1) Quando as ligações de terra do posto de transformação ($R_P$) e das massas de utilização ($R_M$) não são interligadas é necessário instalar no início da instalação um aparelho diferencial de corrente residual.

(2) Para um posto de contagem BT é necessário um aparelho de corte visível na origem da instalação;

(3) $Z_N$ Impedância de minimização de variações de potencial entre terra e a rede (utilizada quando necessária) deve ser de valor elevado (1700Ω);

## 5.5.2.2 – Caso de uma Instalação com neutro ligado diretamente à terra e massas à terra, TT

Neste regime de neutro as massas são ligadas à terra de acordo com a figura 5.4. O corte de alimentação é obrigatório ao primeiro defeito de isolamento não sendo admitido que o corte seja efetuado por dispositivos de proteção contra defeitos entre fases, mesmo que a ligação à terra do neutro e da massa(s) sejam interligadas. Em todos os casos é obrigatória a utilização de dispositivos diferenciais que atuam sobre o corte de alimentação da instalação.

Como já foi referido, a tensão de contato que se pode surgir na massa de um aparelho no caso de um defeito de isolamento é igual a: $U_C = R_M \times I_f$ , sendo $R_M$ a resistência da ligação à terra da massa do aparelho e $I_f$ a corrente de defeito que circula na malha de defeito.

O recetor deve ser colocado fora de tensão assim que a tensão de contato atinja o valor da tensão limite, $U_L$, para o local (50V para locais secos, 25V para locais húmidos e 12V para locais imersos em água). Assim, para que a tensão limite nunca seja ultrapassada atingindo valores perigosos de $U_C$ a seguinte relação deve ser verificada:

$$I_{\Delta n} \leq \frac{U_L}{R_M} \tag{5.22}$$

A razão entre a tensão limite e a resistência de ligação à terra da massa do aparelho deve ser sempre igual ou superior ao limiar de funcionamento do diferencial para garantir que este vai funcionar em caso de defeito de isolamento.

As figuras abaixo mostram os locais onde os dispositivos diferenciais devem ser instalados (figuras 5.12, 5.13, 5.14). Em todos os casos a relação anterior deve ser verificada. No caso de existirem várias ligações das massas à terra a regulação do diferencial é regulado em função da tomada de terra com valor mais elevado. No entanto, todas as massas protegidas pelo mesmo aparelho diferencial devem ser ligadas ao mesmo elétrodo de terra afim da relação anterior ser satisfeita em qualquer caso de defeito.

O local de colocação dos dispositivos diferenciais numa instalação elétrica podem ser vários existindo a disposição mínima obrigatória e outras disposições que admitem seletividade quer vertical, quer horizontal.

**Mínimo obrigatório:**

A: Proteção diferencial à cabeça da instalação;

B: Proteção clássica para cada circuito;

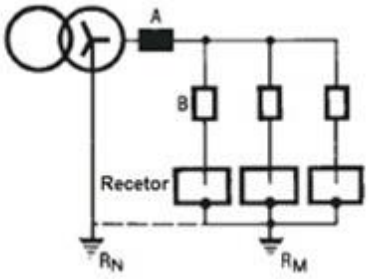



**Figura 5.12 –** Disposição mínima obrigatória para proteção por diferencial.

**Seletividade vertical:**

A: Proteção diferencial retardada à cabeça da instalação;

B: Proteção diferencial instantânea em cada circuito principal ou terminal;

C: Proteção Clássica;

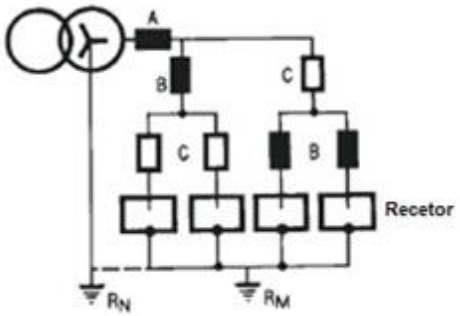



**Figura 5.13 –** Disposição para proteção diferencial permitindo seletividade vertical.

**Seletividade Horizontal:**

A: Proteção geral clássica à cabeça da instalação;

B: Proteção diferencial instantânea para cada circuito;

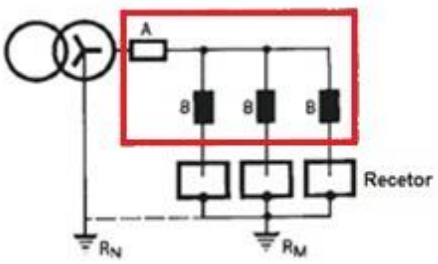



**Figura 5.14 –** Disposição para proteção diferencial permitindo seletividade horizontal.

## 5.5.2.3 – Caso de uma Instalação com neutro ligado diretamente à terra e massas ao neutro, TN

Neste regime todas as massas são ligadas ao neutro e este por sua vez é ligado à terra (elétrodo de terra).

O corte de alimentação é obrigatório no primeiro defeito de isolamento sendo este efetuado pela utilização de dispositivos de proteção contra defeitos entre fases (por exemplo disjuntores). É imperativo que em todas as disposições seja facilitado o estabelecimento de uma corrente elevada no caso de um defeito de isolamento. Num regime TN as massas do posto de transformação, o neutro, as massas da instalação devem ligar à mesma ligação de terra (1) (ver figura 5.15). Deve ser instalado um aparelho de corte visível na origem da instalação (2) (ver figura 5.15). A figura 5.15 mostra a disposição de uma instalação do tipo TN sendo esta mínima obrigatória.

**Mínimo obrigatório:**

A: Repartir as conexões à terra ao longo do condutor PEN ou PE;

B: Distribuir o condutor PE ou PEN ao longo das fases;

C: Conetar o borne de massa do recetor ao condutor PEN;

D: Corte de alimentação ao primeiro defeito de isolamento através de dispositivos de proteção de defeitos entre fases( por exemplo disjuntor);

E: Separação do neutro e do condutor de proteção quando:

- As canalizações são amovíveis;
- Secção do neutro <10mm$^2$, se de cobre, ou <16mm$^2$, se de alumínio;

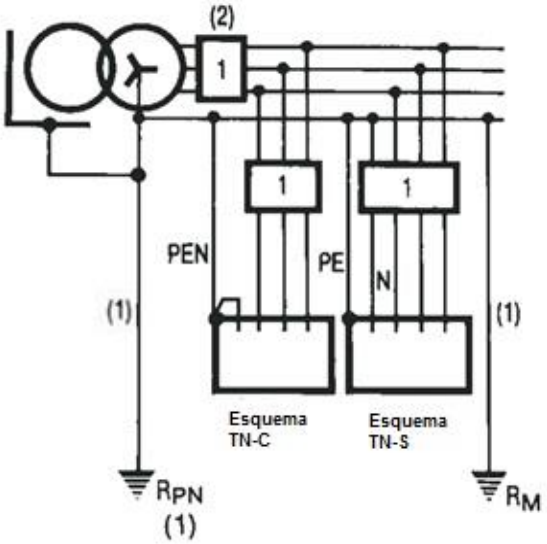



**Figura 5.15 –** Disposição de uma instalação TN, mínimo obrigatório [1].

# Capítulo 6
# Vantagens/Inconvenientes, técnicas de exploração e proteção de pessoas de cada Regime de Neutro

## 6.1 – Introdução

Tendo em consideração o aspeto da proteção de pessoas os três regimes de neutro são equivalentes. Considerando outros aspetos, alguns deles já falados nos capítulos anteriores, é necessário ponderar sobre qual o melhor regime de neutro a adotar. Os seguintes pontos descrevem sobre as situações que determinam a escolha do regime:

- Leis/regras que impõem determinado regime;
- É da escolha do utilizador se este for alimentado por um transformador MT/BT (utilizador em baixa tensão) ou se possuir a sua própria fonte de energia ou um transformador BT/BT.

  Quando o utilizador é livre de escolher, a definição do regime resultará do acordo entre este e o projetista da rede, levando a que:
  - Em primeiro lugar, se tome em consideração a obrigatoriedade de existência ou não de continuidade de serviço e sobre as condições de exploração (se há ou não pessoal técnico responsável pelo serviço de exploração, se a manutenção está entregue a uma companhia exterior, etc).
  - Em segundo lugar, deve ter sido em conta as características particulares da rede e dos recetores;

Em certos casos, devido à natureza dos recetores pode ser necessário fazer coexistir na mesma instalação dois regimes de neutro distintos. Nesta situação é também necessário cortar a alimentação da rede sendo então necessário que cada grupo de recetores seja alimentado através de um transformador de isolamento.

Tomando como exemplo a alimentação de um forno de tratamento térmico cujo isolamento é mau e cuja exploração deve ser continua, o regime de neutro isolado é o que melhor se adapta nesta situação dado que existe uma equipa de manutenção competente. O forno deve ser alimentado através de um transformador de enrolamentos separados, com ligação da massa ao neutro local do secundário e deste à terra como mostra a figura 6.1.

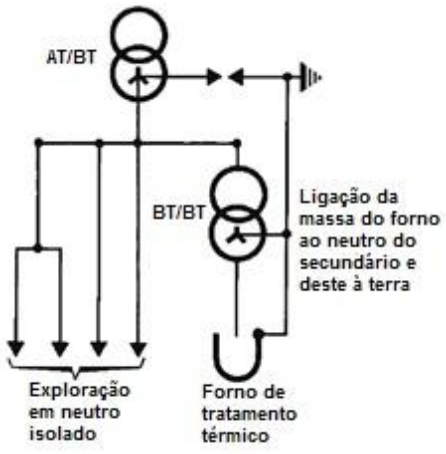

AT/BT
BT/BT
Ligação da massa do forno ao neutro do secundário e deste à terra
Exploração em neutro isolado
Forno de tratamento térmico

**Figura 6.1 –** Exemplo de escolha de regime de neutro em BT [1].

## 6.2 – Neutro Isolado, IT

### 6.2.1 – Técnicas de Exploração

- Neste tipo de rede se houver uma falha fase-terra somente provoca uma corrente baixa através das capacidades fase-terra das fases sãs;
  Sendo a corrente de defeito fase terra igual a $I = 3 \times C \times \omega \times \mathrm{V}$
  - C é a capacidade de uma fase em relação à terra;
  - ω é a frequência angular da rede com $\omega = 2 \times \pi \times \mathrm{f}$;
  - V é a tensão fase-neutro;

  A corrente de defeito pode ser mantida, em princípio, por um longo período de tempo sem causar danos, pois ultrapassa somente alguns amperes (aproximadamente 2A por km para um cabo unipolar de 6kV, com secção de 150mm$^2$ e capacidade de 0.63µF/km). Deste modo não é necessário intervir para eliminar esta primeira falha o que confere a esta solução a vantagem essencial de manter a continuidade de serviço;
  Mas esta situação tem consequências:
  - Vigilância permanente do isolamento;
  - Sinalização do primeiro defeito de isolamento através de um dispositivo de monitorização de isolamento ou por uma proteção de sobretensão residual;

- Pesquisa e eliminação do primeiro defeito obrigatória por pessoal competente;
- Se a primeira falha não for eliminada, ao ocorrer uma segunda falha em outra fase haverá um curto-circuito bifásico à terra o qual será eliminado pelas proteções de fase, sendo este corte obrigatório;

O corte é obtido por dispositivos que asseguram a proteção contra os defeitos entre fases (por exemplo os disjuntores). É necessário que a corrente de defeito que se desenvolva seja suficientemente elevada para fazer atuar estes dispositivos. Por isso é recomendado, na medida do possível, que sejam interligadas todas as massas de uma mesma instalação de modo a reduzir as impedâncias dos anéis de defeito.

No caso de uma massa situada longe e que não possua interligação, as correntes de defeito que se possam originar em caso de defeito de isolamento podem não ser capazes de fazer funcionar os dispositivos de proteção. Neste caso são utilizados os dispositivos de proteção diferencial residual (ver figura 6.2). Este é montado a montante do recetor ou grupo de recetores cujas massas não são interligadas às massas de outros receptores.

É admitido na prática que a proteção aquando do segundo defeito é assegurada se o limiar de funcionamento do dispositivo de proteção instalado é no máximo igual a metade da corrente de defeito franco que circula numa instalação cujo regime de neutro seja TN.

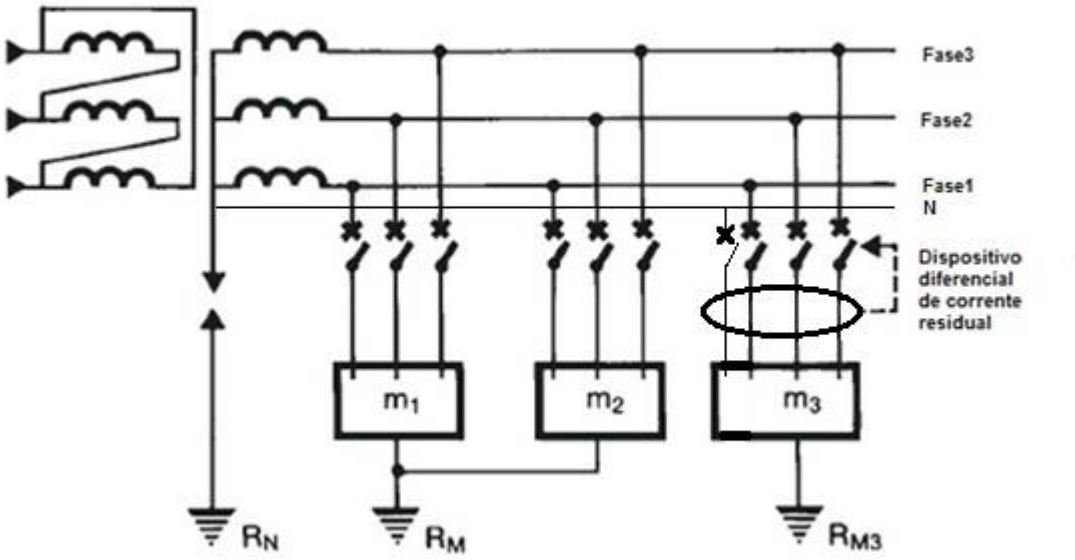



**Figura 6.2 –** Utilização de dispositivos diferenciais para proteção de recetores.

## 6.2.2 – Técnicas de Proteção de Pessoas

- Interligação das massas e ligação à terra;
- Vigilância do primeiro defeito para controlo permanente de isolamento;
- Corte de alimentação ao segundo defeito por aparelhos de proteção contra sobreintensidades (disjuntores ou fusíveis);

## 6.2.3 – Vantagens

- Assegura uma melhor continuidade de serviço durante a exploração, pois a corrente de defeito após a primeira falha é muito baixa o que possibilita o não desligamento automático na primeira falha, sendo a interrupção apenas necessária no segundo defeito;
- A sinalização do primeiro defeito de isolamento, a sua pesquisa e a sua eliminação permite uma prevenção sistemática contra o risco de eletrocussão;
- Os aparelhos de controlo permitem:
  - ✓ Antecipar as intervenções;
  - ✓ A busca rápida do primeiro defeito de isolamento (automatismo) incluindo a distância a que se encontram (através do controlo mediante barramentos de conexão digital);
  - ✓ A preparação/previsão das reparações;
- Tem como ponto forte a segurança nos circuitos de comando e controlo de máquinas contra defeitos de isolamento. Devido a apresentar uma corrente baixa no primeiro defeito, também apresenta como ponto forte a segurança contra os riscos de incêndio e explosão sendo estes mínimos;
- Boa compatibilidade eletromagnética (interligação das massas e, em princípio, só uma ligação à terra);
- Um defeito fase-terra não provoca um curto-circuito;

## 6.2.4 – Inconvenientes

- Necessita de pessoal de manutenção para vigilância permanente da instalação e procura rápida do primeiro defeito de isolamento;
- Necessita de um bom nível de isolamento da rede implicando a fragmentação da rede se esta for muito extensa e para recetores com correntes de fugas elevada (por exemplo recetores com grande acoplamento capacitivo à terra) é necessária a sua alimentação através de transformadores com enrolamentos separados. Diversos aparelhos com filtro capacitivo têm o mesmo efeito que uma rede extensa que utilizada o regime IT. Um exemplo claro são os equipamentos de informática: impressoras, computadores, monitores quando ligados à mesma derivação monofásica. Estes filtros antiparasitas são obrigatórios pela norma europeia sobre CEM (Compatibilidade Eletromagnética) estando instalados em aparelhos e produzindo em modo monofásico correntes de fuga permanentes a 50Hz que podem alcançar os 3.5mA. Estas correntes somam-se se estão ligadas à mesma fase. Estas correntes anulam-se mutuamente quando estão equilibradas (soma vetorial) e se os aparelhos estiverem ligados nas três fases. Os aparelhos de controlo de isolamento por injeção de corrente contínua são afetados por estas correntes.

Para que não se produzam disparos intempestivos (ver figura 6.3) sobretudo quando os aparelhos diferenciais têm um limiar de funcionamento baixo, a corrente de fuga permanente não pode ser superior a 0.17IΔn no regime de neutro IT.

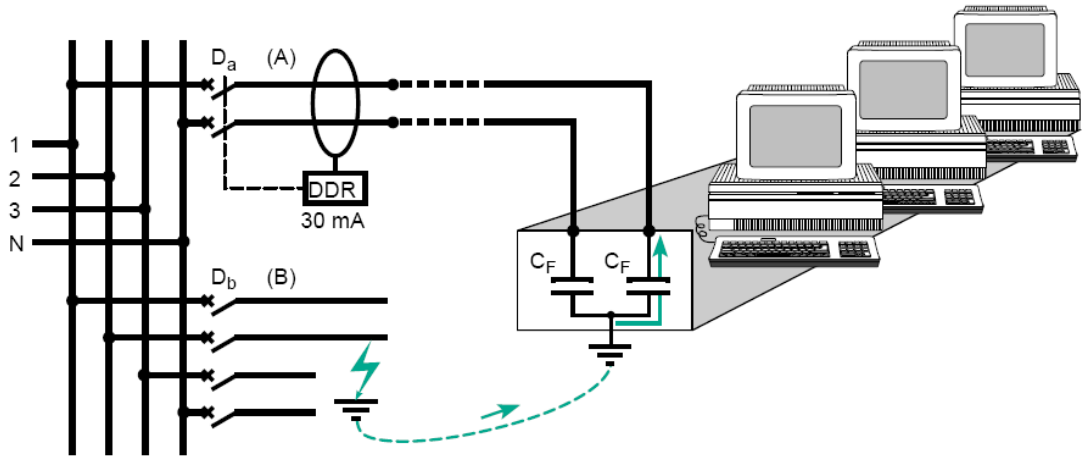



**Figura 6.3 –** Esquema IT. A circulação de correntes capacitivas pode provocar disparos intempestivos dos aparelhos diferenciais.

Se houver um defeito na derivação (B) o diferencial em $D_a$ que se encontra numa derivação muito capacitiva (com muitos filtros) pode disparar em lugar de $D_b$ [4].

- A verificação do disparo (corte) para dois defeitos simultâneos deve ser efetuada, se possível, no estudo do projeto da rede através de cálculos e obrigatoriamente quando a instalação se encontra em serviço;
- Os aparelhos recetores não devem ter uma baixa resistência de isolamento, sobretudo no caso de fornos de indução, soldadura com arco e no caso de os cabos da instalação serem muito velhos. Uma baixa resistência de isolamento equivale a um defeito de isolamento permanente fazendo com que o aparelho de controlo de isolamento fique constantemente em alarme;
- As fugas capacitivas importantes na rede perturbam o controlo de isolamento através do aparelho atrás referido, provocando também a circulação de correntes diferenciais susceptíveis de provocarem o disparo intempestivo dos diferenciais. Por esta razão não é aconselhado que as redes sejam extensas e que tenham derivações, por exemplo, para a alimentação de energia de vários edifícios separados uns dos outros.
- Instalação de limitadores de sobretensão;
- Necessidade de equipotencializar as massas, de outra forma necessita de instalação de dispositivos diferenciais;
- Difícil localização de defeitos no caso de redes extensas;
- Equipamentos dimensionados para tensão composta o que leva a um agravamento económico;

- No caso de redes com alimentação de emergência independente da fonte de alimentação que está em serviço deve ser assegurada a deteção do primeiro defeito de isolamento e o corte de alimentação após o segundo defeito. Não é aconselhável o controlo de isolamento simultâneo nas posições A e B (ver figura 6.4) porque se influenciam mutuamente. É portanto necessário impedir que funcionem ao mesmo tempo (este impedimento pode ser através de relés ou através de sistemas de controlo que utilizem intercâmbio de informação por meio de barramentos digitais e que adaptam automaticamente a configuração da rede);
- Evitar que o neutro seja distribuído e assim contribuir para aumentar a fiabilidade do sistema, pois:
    - ✓ Se o condutor de neutro for distribuído poderá correr-se o risco de manifestar-se um segundo defeito sem que o primeiro tenha sido sinalizado fazendo atuar a proteção suprimindo assim as vantagens inerentes à utilização deste regime IT;
    - ✓ Se o neutro for distribuído deve obrigatoriamente ser protegido;
    - ✓ O fato de não distribuir o neutro facilita a escolha de dispositivo de proteção contra sobreintensidades e a procura dos defeitos;

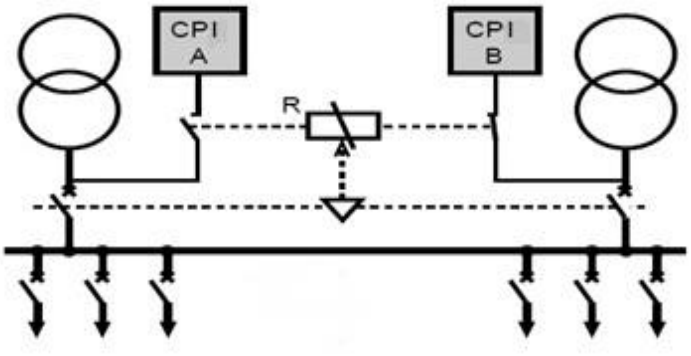



**Figura 6.4 –** Controlo permanente de isolamento (CPI) em diversas partes de uma rede com fonte de emergência [4].

## 6.3 – Neutro Ligado Diretamente à Terra, TT

### 6.3.1 – Técnicas de Exploração

- Se o neutro for ligado diretamente à terra sem impedância de limitação, a corrente de defeito entre fase e terra será elevada, sendo praticamente um curto-circuito. Sendo necessário então o corte de alimentação ao primeiro defeito de isolamento;

### 6.3.2 – Técnicas de Proteção de Pessoas

- Ligação à terra das massas associando o emprego obrigatório de dispositivos de proteção diferencial (pelo menos um no início da instalação);
- Todas as massas protegidas pelo mesmo dispositivo diferencial devem ser ligadas ao mesmo elétrodo de terra;
- As massas simultaneamente acessíveis devem ser ligadas ao mesmo elétrodo de terra;

### 6.3.3 – Vantagens

- Mais fácil de ser estudado, instalado, controlado e explorado;
- A falha de isolamento resulta na interrupção do fornecimento de energia que apenas será cortada no circuito em defeito;
- Não necessita de uma vigilância constante durante a exploração (necessita de um controlo periódico dos dispositivos diferenciais);
- A presença de diferenciais permite a prevenção de risco de incêndio quando a sensibilidade é superior a 300mA;
- Localização fácil de defeitos;
- Este esquema é ideal para a eliminação de sobretensões;
- Permite o emprego de materiais com nível de isolação dimensionados para a tensão fase-neutro;
- Devido às baixas correntes de defeito é bom para locais com risco de incêndio e/ou explosão;
- O baixo valor das correntes de defeito aumenta a vida útil dos barramentos e dos condutores devido à ausência de grandes esforços eletrodinâmicos e térmicos durante um curto-circuito;
- Vantajoso em situações de aparelhos sensíveis a elevadas correntes de defeito (motores, por exemplo);
- Este regime permite uma boa equipotencialidade que é essencial para os aparelhos de comunicação;

### 6.3.4 – Inconvenientes

- Corte de alimentação ao primeiro defeito de isolamento baixando a fiabilidade da instalação;

- Utilização de um dispositivo diferencial no início de cada circuito para permitir obter seletividade total;
- Para a deteção de correntes de defeito baixas é necessário aparelhos diferenciais que são mais caros quanto maior a sensibilidade;
- Os recetores ou partes da instalação que são a causa, em condições normais, de correntes de defeito importantes, devem ser objeto de medidas especiais para evitar os disparos intempestivos (alimentar os recetores através de transformadores de separação ou utilizar dispositivos diferenciais com limiar de disparo elevado, compatível com a resistência de ligação à terra das massas);
- Este esquema provoca todos os inconvenientes e perigos de uma corrente elevada de fuga à terra com danos e distúrbios que podem ser elevados;
- O perigo para as pessoas durante o defeito pode ser elevado se não for devidamente protegido, podendo as tensões de contato que se desenvolvem ser elevadas;

## 6.4 – Neutro Ligado à Massa, TN-C e TN-S

### 6.4.1 – Técnicas de Exploração

- Corte ao primeiro defeito de isolamento;

### 6.4.2 – Técnicas de Proteção de Pessoas

- Ligação do neutro à terra e ligação das massas ao neutro;
- Corte ao primeiro defeito de isolamento por proteção contra sobreintensidades (disjuntores ou fusíveis);

### 6.4.3 – Vantagens

- O esquema TN-C permite simplicidade e pode representar uma economia para a instalação (é suprimido um pólo na aparelhagem de corte já que, de uma maneira geral, o neutro não pode ser cortado pois desempenha uma função de segurança);
- Economiza-se um condutor: o condutor de proteção (TN-C);
- Utilização de dispositivos de proteção contra as sobreintensidades para assegurar a proteção contra contatos indiretos;
- Isolamento menos exigente que no caso do neutro isolado;
- O esquema TN-S possui a vantagem, relativamente ao TN-C, de no caso do condutor de proteção ser interrompido (1ª avaria) não se estabelecer qualquer elevação de

potencial na massa do aparelho desta instalação (no entanto à 2ª avaria, por exemplo um defeito à massa, já se estabelece uma tensão de contato perigosa na massa do aparelho) (ver figura 6.5);

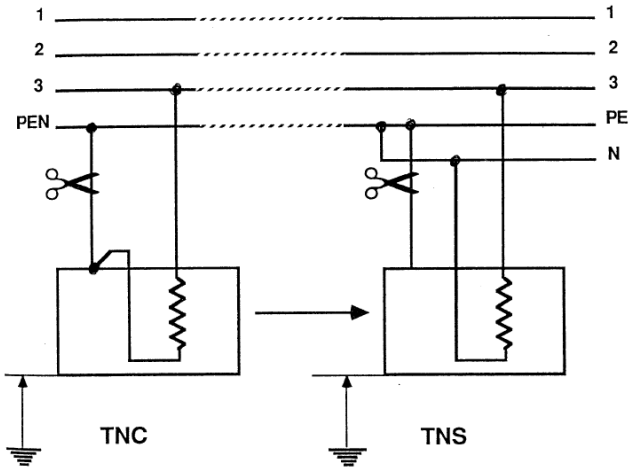



**Figura 6.5 –** Esquema TN-C e TN-S – caso de corte acidental do condutor PEN e PE, respetivamente [5].

## 6.4.4 – Inconvenientes

- O corte ao primeiro defeito de isolamento;
- No sistema TN-C é necessário que as fases estejam equilibradas, caso contrário circulará corrente no condutor de neutro, que neste sistema é também de proteção. Neste caso provocariam circulação de corrente nas massas metálicas, nas ligações equipotenciais e em todos os elementos condutores a eles ligados;
- Algumas cargas não lineares fazem alterar a forma sinusoidal da onda de corrente, fazendo com que circulem correntes no neutro da instalação podendo estas provocarem o aumento da temperatura nas massas metálicas e provocarem faíscas tornando este regime de neutro pouco adequado para locais onde haja risco de incêndio ou de explosão;
- Vigilância por pessoal qualificado, consciente das consequências de qualquer modificação indevida da instalação relativamente às condições estabelecidas quando da elaboração do respetivo projeto;
- A economia realizada na instalação será, por vezes, compensada por despesas suplementares de estudo e de exploração;
- Não pode coexistir com o regime TT (ver figura 6.6). Ao ocorrer um defeito na massa (M) ligada diretamente à terra pode fazer elevar o potencial do condutor de neutro da instalação e como consequência elevar o potencial de todas as outras massas (M' e M'');

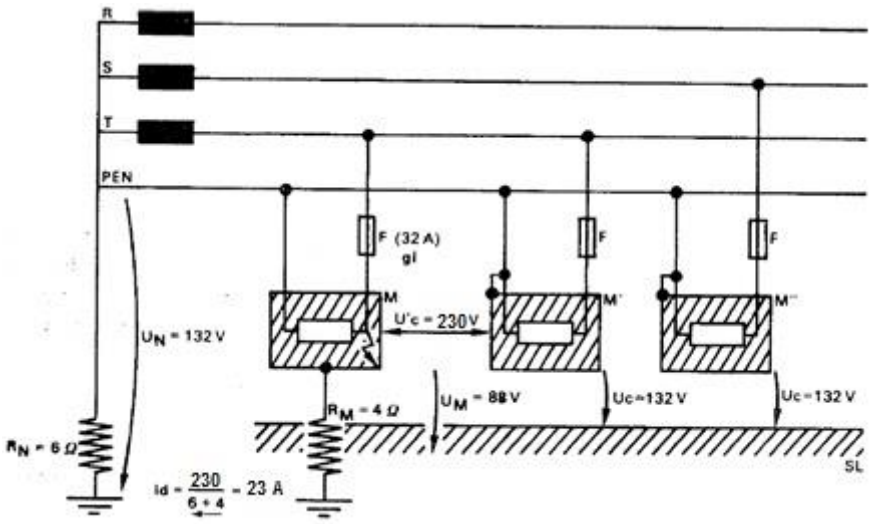



**Figura 6.6 –** Problemática da existência simultânea numa instalação do regime TT e regime TN-C [5].

- Se houver probabilidade do condutor neutro/proteção (no esquema TN-C) ser cortado acidentalmente ou sempre que haja necessidade de garantir uma proteção suplementar por dispositivos diferenciais deverá utilizar-se o esquema TN-S, o qual implica mais um condutor, de proteção, separado do condutor de neutro;
- O esquema TN-C implica a utilização de canalizações fixas e rígidas;
- O esquema TN-C necessita de ligações à terra uniformemente repartidas por toda a instalação de modo a manter o condutor de proteção ao potencial terra;
- A verificação do disparo (corte) para o primeiro defeito de isolamento deve ser efetuada, se possível, no estudo através de cálculos e obrigatoriamente quando a instalação se encontra em serviço; Esta é a única garantia de funcionamento deste regime tanto no momento de colocação em funcionamento (primeiro funcionamento), como durante a exploração, como após intervenção sobre a rede;
- Passagem do condutor de proteção nas mesmas canalizações que os condutores ativos dos circuitos correspondentes;
- Necessidade de realizar frequentemente ligações equipotenciais suplementares;
- Devem ser tomadas precauções para evitar a rotura do condutor neutro quando é utilizado como condutor de proteção (TN-C). Se o condutor de neutro for interrompido neste esquema, TN-C, as massas ficam à tensão da rede. Nesta situação uma pessoa que toque a massa de um aparelho e um condutor metálico ligado à terra fica sujeito a uma corrente perigosa que atravessa o seu corpo (ver figura 6.5);
- Maiores riscos de incêndio devido às elevadas correntes de defeito;
- O sistema TN-C é proibido: em situações de risco de incêndio; na presença de aparelhos eletrónicos devido à presença de correntes harmónicas no neutro;
- Só pode ser usado para proteção de pessoas quando a instalação seja alimentada por um PT privado ou gerador próprio. O distribuidor em BT deverá autorizar a utilização do sistema. No caso do PT privado ou produção própria, a impedância da fonte deve ser

suficientemente reduzida sendo desaconselhável o sistema TN em instalações com alternador ou transformador em estrela-estrela.

- Requer a instalação de elétrodos de terra em intervalos regulares ao longo da instalação;
- No caso de elevada corrente de defeito monofásico esta provoca: elevados esforços eletrodinâmicos e térmicos sobre os condutores; redução da vida útil dos disjuntores, possibilidade de destruição do isolamento; contornamento das cadeias de isoladores; aparecimento de fenómenos de indução eletromagnética sobre as linhas de telecomunicações;
- Sendo a maior parte dos defeitos de caráter fugitivo, com eliminação através de religação, a qualidade de serviço fica penalizada;

## 6.5 – Comparação entre os vários Regimes de Neutro

**Tabela 6.1 –** Comparação entre os vários regimes de neutro.

| | ***IT (1)*** | ***IT (2)*** | ***TN-S*** | ***TN-C*** | ***TT*** | ***Comentários*** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ***Segurança*** | | | | | | |
| • *De pessoas contra contatos indiretos* | **++** | **+** | **+** | **+** | **+** | • $U_c$ próximo de zero após 1º defeito no IT;<br>• Se as regras forem cumpridas todos os RN são idênticos na proteção de pessoas; |
| • *Incêndio (c/ diferencial)*<br>• *Explosão (c/ diferencial)* | **++** | **+** | **+** | **- -** | **+** | • TN-C proibido;<br>• Equivalente para todos os RN em que é permitido a utilização de DDR; |
| ***Disponibilidade de serviço*** | | | | | | |
| *Após 1º defeito* | **+** | - | - | - | - | • IT é o único que contínua disponível após 1º defeito |
| ***Manutenção*** | | | | | | |
| *Custos de reparação* | **-** | **- -** | **- -** | **- -** | - | • O custo de reparação depende dos danos causados pela amplitude das correntes de defeito; |
| *Estragos na instalação* | **+ +** | - | - | - | + | • Nos regimes de neutro c/ elevadas correntes de defeito é exigido que as instalações sejam verificadas após defeito;<br>• IT permite uma manutenção preventiva; |
| ***Fiabilidade*** | | | | | | |
| | **++** | + | + | **-** | **++** | • Toma vantagem aquele que tem $I_d$ baixa (provoca menos avarias na instalação e menores esforços eletrodinâmicos); |

| ***Perturbações*** | ***IT (1)*** | ***IT (2)*** | ***TN-S*** | ***TN-C*** | ***TT*** | ***Comentários*** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| • *Emissão contínua de radiação EM* | + | + | + | - | + | • A ligação do condutor PEN a estruturas metálicas da construção conduz à geração contínua de um campo eletromagnético; |
| • *Não Equipotencialidade transitória da PE* | + | - | - | - | + | • A PE deixa de ser equipotencial se houver uma grande corrente de defeito; |
| ***Instalação*** | | | | | | |
| • *Análise quanto à quantidade de equipamento que constitui cada RN, quanto maior quantidade pior em termos económicos.* | - | - | + | + | - | • O esquema TN-C permite redução do nro de condutores;<br>• O IT necessita controlo permanente de isolamento;<br>• O sistema TT necessita de DDR; |
| ***Sobretensões*** | | | | | | |
| *Sobretensão contínua* | - | + | + | + | + | • Uma sobretensão F-T é contínua no sistema IT se houver um primeiro defeito de isolamento; |
| *Sobretensão transitória* | + | - | - | - | + | • Os RN com altas correntes de defeito podem causar sobretensões transitórias; |
| **Características elétricas** | | | | | | |
| *Corrente de defeito* | + | - - | - - | - - | - | • Apenas o IT oferece uma corrente negligenciável no 1º defeito; |
| *Tensão de defeito* | + | - | - | - | - | • No sistema IT a tensão de toque é muito baixa no 1º defeito; |

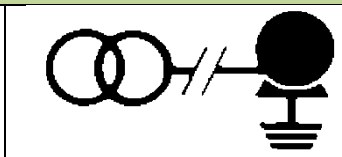
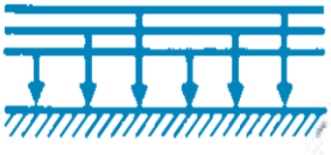
(1) – 1º defeito de isolamento

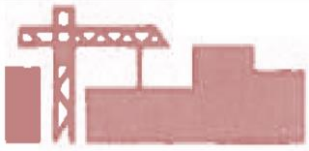
(2) - 2º defeito de isolamento

60 Vantagens/Inconven., técnicas de exploração e proteção de pessoas de cada RN

# Capítulo 7
# Compatibilidade entre características da rede e os diferentes Regimes de Neutro

**Tabela 7.1 –** Compatibilidade entre características da rede e os diferentes RN.

| | | *RN aconselhados e grau de viabilidade* | | |
|---|---|---|---|---|
| ***Natureza da rede*** | | ***Adequado*** | ***Possível*** | ***Desaconselhado*** |
| ***Rede extensa com boas ligações à terra*** |  | **TN**<br>**TT** | **-** | **IT (1)** |
| ***Rede extensa com más ligações à terra*** | | **TT** | **-** | **TN**<br>**IT (1)** |
| ***Rede sujeita a perturbações (sobretensões)*** | | **TN** | **TT** | **IT (2)** |
| ***Rede com correntes de fuga elevadas (> 500mA)*** |  | **TN** | **-** | **IT (3)**<br>**TT (4)** |
| ***Rede com linhas aéreas*** | | **TT** | **TN** | **IT (5)** |
| ***Rede com grupo de emergência*** | | **IT** | **TT** | **TN (6)** |

| ***Natureza dos Recetores*** | | ***Adequado*** | ***Possível*** | ***Desaconselhado*** |
|---|---|---|---|---|
| ***Recetores sensíveis a grandes correntes de defeito*** | | **IT** | **TT** | **TN (7)** |
| ***Recetores com baixo nível de isolamento (fornos, aparelhos de soldadura, cozinhas industriais…)*** | | **TN (8)** | **TT (8)** | **IT** |
| ***Instalação com numerosos recetores portáteis monofásicos*** | | **TT (9)**<br>**TN-S com DDR** | **-** | **IT (9)**<br>**TN-C (9)** |
| ***Recetores de risco (por exemplo guinchos)*** | | **TN (10)** | **TT (10)** | **IT (10)** |
| ***Alimentação de sistemas de controlo e comando*** | | **IT** | **TT** | **TN** |
| ***Outras características*** | | ***Adequado*** | ***Possível*** | ***Desaconselhado*** |
| ***Locais com risco de incêndio e/ou explosão*** | | **TT**<br>**TN-S (11) com DDR** | **IT** | **TN-C (12)** |
| ***Instalação com possibilidade elevada de modificações*** | | **TT (13)** | **IT (14)** | **TN (15)** |
| ***Instalações com incerteza no comportamento dos sistemas de terra*** |  | **TT (16)**<br>**TN-S com DDR** | **-** | **TN-C**<br>**IT (17)** |
| ***Presença de equipamentos eletrónicos (computadores, autómatos programáveis …)*** | | **TN-S** | **TT** | **TN-C** |
| ***Presença de sensores e atuadores*** | | **IT** | **TN-S**<br>**TT** | **-** |

**(1) – A partir de determinado comprimento da rede torna-se ilusório falar de neutro isolado devido às capacidades parasitas existentes (cabos).**

**(2) – Pode dar-se o caso de escorvamento do limitador de sobretensões passando do caso de neutro isolado para neutro à terra.**

**(3) – O controlo permanente de isolamento estaria em alarme permanente.**

**(4) – Risco de funcionamento intempestivo dos aparelhos diferenciais (DDR).**

**(5) – Os riscos são elevados devido à humidade e poeiras condutoras.**

**(6) – O sistema TN é desaconselhado, por um lado devido à deterioração do alternador em caso de um defeito interno, por outro lado devido à limitação da corrente de defeito fase/neutro devido às características do alternador. Os grupos de socorro devem poder alimentar as instalações de emergência e não devem ser desconetados ao primeiro defeito.**

**(7) – A corrente de defeito monofásica pode atingir vários valores de corrente, correndo o risco de danificar as bobinas dos motores e fazer envelhecer ou destruir os circuitos magnéticos.**

**(8) – Para permitir a continuidade de serviço e a segurança é necessário e recomendável, para todos os RN, separar estes recetores do resto da instalação (com transformadores de separação com ligação ao neutro local).**

**(9) – Quando a qualidade dos recetores não é tida em consideração na conceção da instalação, o isolamento corre o risco de diminuir rapidamente.**

**(10) – A mobilidade deste tipo de recetores gera defeitos frequentes que é conveniente contornar. Qualquer que seja o regime é recomendado alimentar os circuitos por transformador de separação com ligação ao neutro local.**

**(11) – Qualquer que seja o regime deve ser utilizado um dispositivo diferencial de sensibilidade $I\Delta n \leq 300mA$.**

**(12) – As fortes correntes de defeito tornam perigoso a ligação ao neutro.**

**(13) – Possível sem equipa de manutenção competente.**

**(14) – Exige pessoal competente para a manutenção e assegurar a segurança ao longo do tempo.**

**(15) – Os riscos de uma manutenção eficiente não aconselham este regime.**

**(16) – Os riscos de rotura dos condutores tornam a equipotencialização das massas aleatória. A ligação do neutro à terra com diferenciais de alta sensibilidade (30mA) constitui um modo de prevenção deste risco.**

**(17) – É aleatória a garantia de equipotencialização das massas.**

# Capítulo 8
# Método para definir o Regime de Neutro de uma instalação BT

## 8.1 – Introdução

O cliente que usufrui da instalação elétrica e o explorador da mesma exigem a segurança total da instalação, a energia sempre disponível e que esta não apresente, em condições normais de utilização, nenhum risco fazendo deste modo com que nos “esqueçamos dela”. Os componentes essenciais a verificar numa instalação são:

- ✓ A segurança;
- ✓ A disponibilidade;
- ✓ A manutenção que deve ser óptima;

Estes são os critérios que permitem fazer uma melhor eleição do RN em função:

- ✓ Do tipo de edifício;
- ✓ Da atividade que nele se desenvolve;
- ✓ Da presença ou não de um serviço de energia;

**Em termos de segurança de pessoas**, o melhor é o IT (após primeiro defeito) pois não se estabelece qualquer malha de defeito (a única corrente que circula apenas se deve às fugas capacitivas dos condutores), já após o segundo defeito torna-se equivalente a qualquer um dos outros RN considerando que foram cumpridas todas as regras de implementação. Em termos globais qualquer RN é equivalente na proteção de pessoas quando bem implementado (ver tabela comparativa na secção 6.5).

**Em termos de disponibilidade**, o melhor é o IT (pois não há corte de alimentação ao primeiro defeito) (ver tabela comparativa na secção 6.5).

**Em termos de manutenção**, o TN tem uma localização do defeito rápida, mas o tempo de reparação é normalmente elevado. Inversamente no IT é mais difícil localizar o defeito, mas a sua reparação e eliminação é mais rápida e barata. O TT também é uma boa opção (ver tabela comparativa na secção 6.5).

**Em termos de fiabilidade**, a fiabilidade dos recetores e da instalação pode ver-se afetada quando (ver tabela comparativa na secção 6.5):

- ✓ Em TN-C, pelo fato de no PEN poder existir corrente devido às correntes harmónicas;
- ✓ Em TN-C e TN-S, por falta de rigor após extensões;
- ✓ Pela aplicação de fontes de baixa potência de curto-circuito;
- ✓ Pelo efeito dos esforços eletrodinâmicos;
- ✓ No IT, no caso do segundo defeito, também se aplicam os mesmos riscos que no TN, mas se a eliminação do primeiro defeito se fizer rapidamente a fiabilidade do IT é muito boa;

**Em termos de perturbações** o esquema TT é preferível quando comparado com o TN-S, pois as correntes de defeito elevadas podem ser perturbadoras;

**Para o projetista** o estudo de um sistema TT é mais simples mesmo após uma expansão. O estudo de um sistema IT e de um sistema TN-S são de uma complexidade equivalente.

**Quanto aos custos:**

- A instalação do sistema TN-S é a mais barata, mas a manutenção e reparação já não o são;
- A instalação do sistema IT é um pouco mais cara, devido ao material de controlo de isolamento e localização do defeito. A procura de uma melhor disponibilidade de energia elétrica exige pessoal qualificado para minimizar a reparação;
- A instalação do sistema TT é um pouco mais cara que a IT sobretudo se se instalarem vários DDR seletivos, mas a localização de defeitos é simples e a reparação menos custosa que o TN.

## 8.2 – Definir o Regime de Neutro de uma Instalação

Quando pretendemos efetuar a escolha do regime de neutro não nos podemos esquecer que os três regimes de neutro (TT, IT, TN) podem coexistir numa mesma instalação elétrica (ver figura 8.1 e 8.2). Deste modo podemos garantir a obtenção de uma melhor resposta às necessidades de segurança e de disponibilidade.

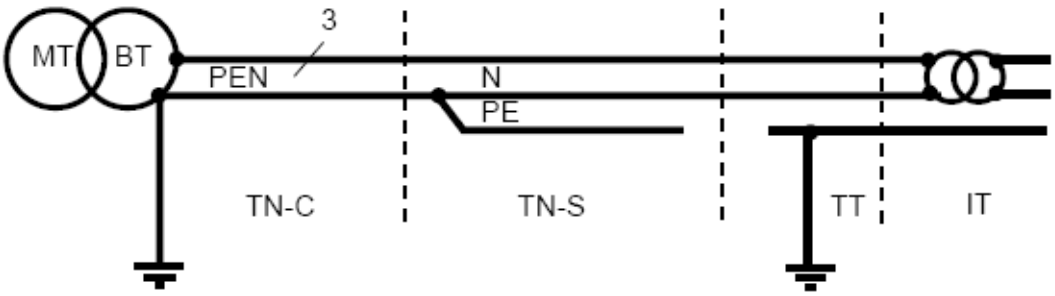



**Figura 8.1 –** Associação em série dos vários regimes de neutro numa instalação [7].

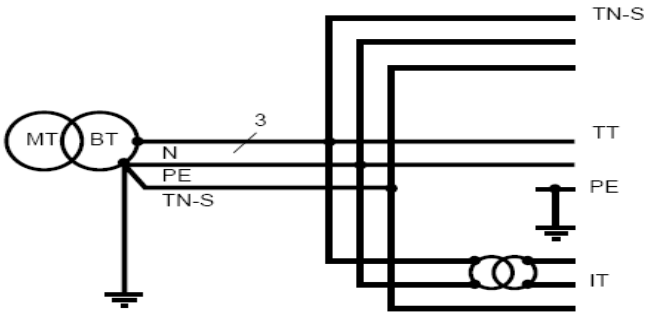



**Figura 8.2 –** Associação em antena dos vários regimes de neutro numa instalação [7].

Seguidamente apresentam-se os passos essenciais que devem ser seguidos para a escolha do regime de neutro adequado:

Identificar a finalidade da instalação elétrica;

Assegurar-se que a escolha não seja recomendada ou imposta por normas ou legislação.

Alguns casos são:

- Salas de operação em hospitais e clínicas (IT) (IEC 60364-7-710:2002-11);
- Pistas de aeroportos (IT);
- Fábricas com processos de fabrico contínuo (IT);
- Laboratórios (IT);
- Câmara frigoríficas de mantimentos (IT);
- Centrais elétricas (IT);
- Instalação alimentada por uma rede de baixa tensão do distribuidor (TT);
- Iluminação de segurança dos estabelecimentos recebendo público (IT);
- Minas (IT ou TT);

Dialogar com o cliente a fim de conhecer as suas exigências e os seus recursos:

- Se tem necessidade de continuidade de serviço;
- Se o serviço será com ou sem manutenção;

Saber as características particulares da rede, dos recetores e “outras características” do local da futura instalação. Por exemplo, se é propício ao risco de incêndio ou explosão;

## 8.3 – Fluxograma para escolha expedita do RN a utilizar (risco incêndio/explosão)

Este fluxograma foi elaborado **tendo apenas em consideração as características básicas** para a escolha do RN, sendo estas: a continuidade/não continuidade de serviço, existência ou não de equipa de manutenção e perigo de incêndio/explosão.

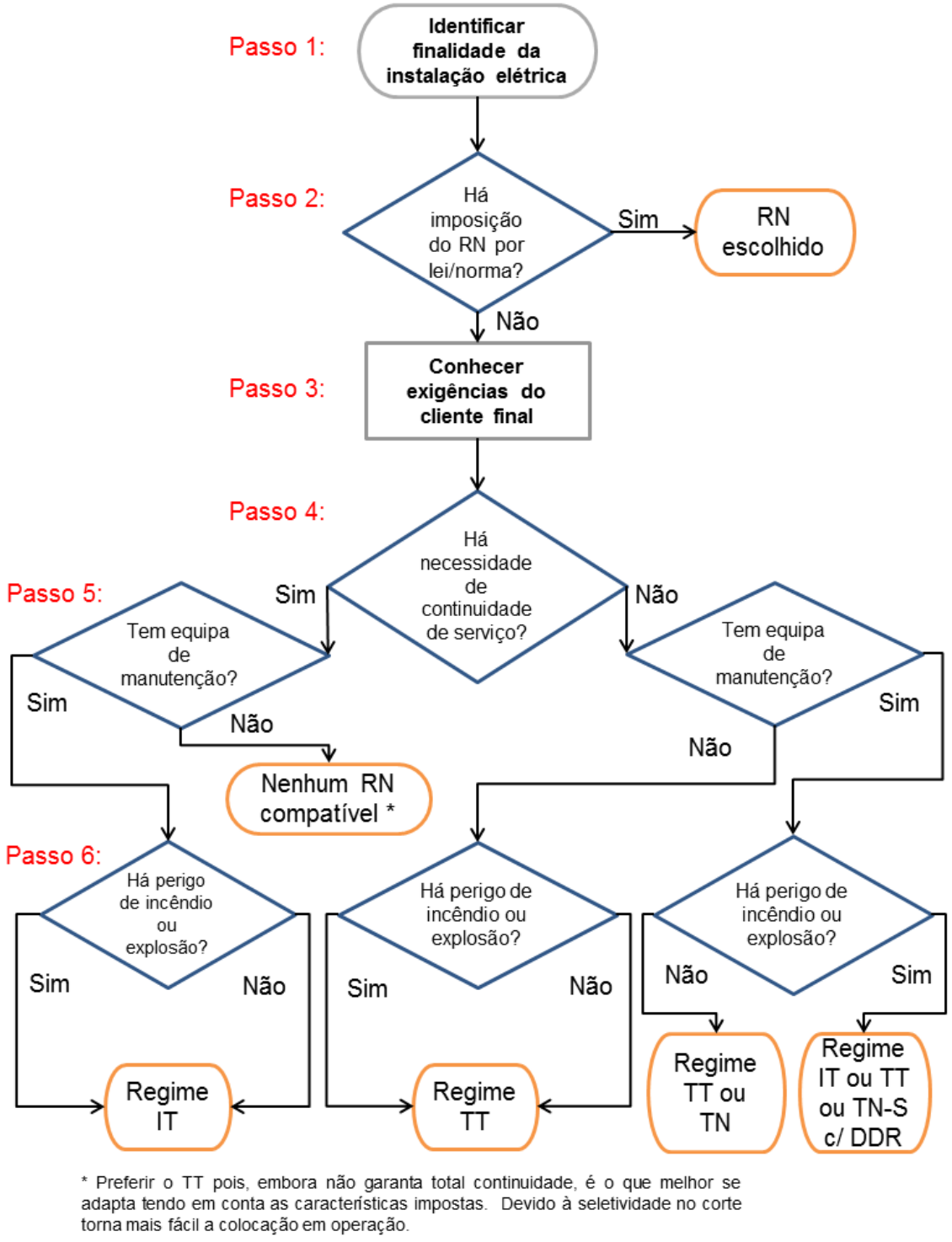



**Figura 8.3 –** Fluxograma para a seleção expedita do regime de neutro (risco incêndio/explosão).

### 8.3.1 – Escolha do RN tendo em conta a NATUREZA DA REDE

#### 8.3.1.1 – Rede extensa com boas ligações à terra

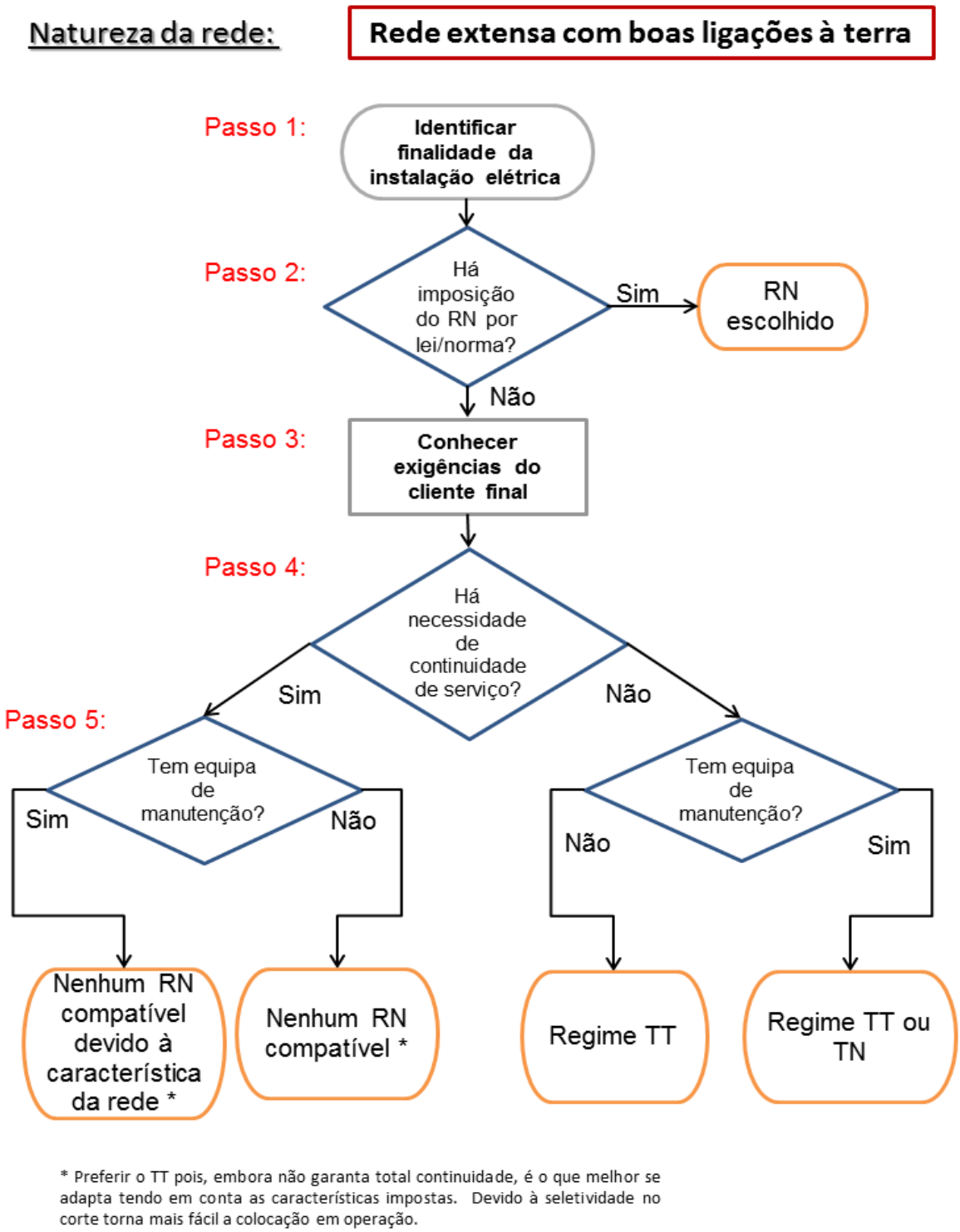

Natureza da rede:
Rede extensa com boas ligações à terra
Passo 1:
Identificar finalidade da instalação elétrica
Passo 2:
Há imposição do RN por lei/norma?
Sim
RN escolhido
Não
Passo 3:
Conhecer exigências do cliente final
Passo 4:
Há necessidade de continuidade de serviço?
Sim
Não
Passo 5:
Tem equipa de manutenção?
Sim
Não
Tem equipa de manutenção?
Não
Sim
Nenhum RN compatível devido à característica da rede *
Nenhum RN compatível *
Regime TT
Regime TT ou TN
* Preferir o TT pois, embora não garanta total continuidade, é o que melhor se adapta tendo em conta as características impostas. Devido à seletividade no corte torna mais fácil a colocação em operação.

**Figura 8.4 –** Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede extensa com boas ligações à terra.

### 8.3.1.2 – Rede extensa com más ligações à terra

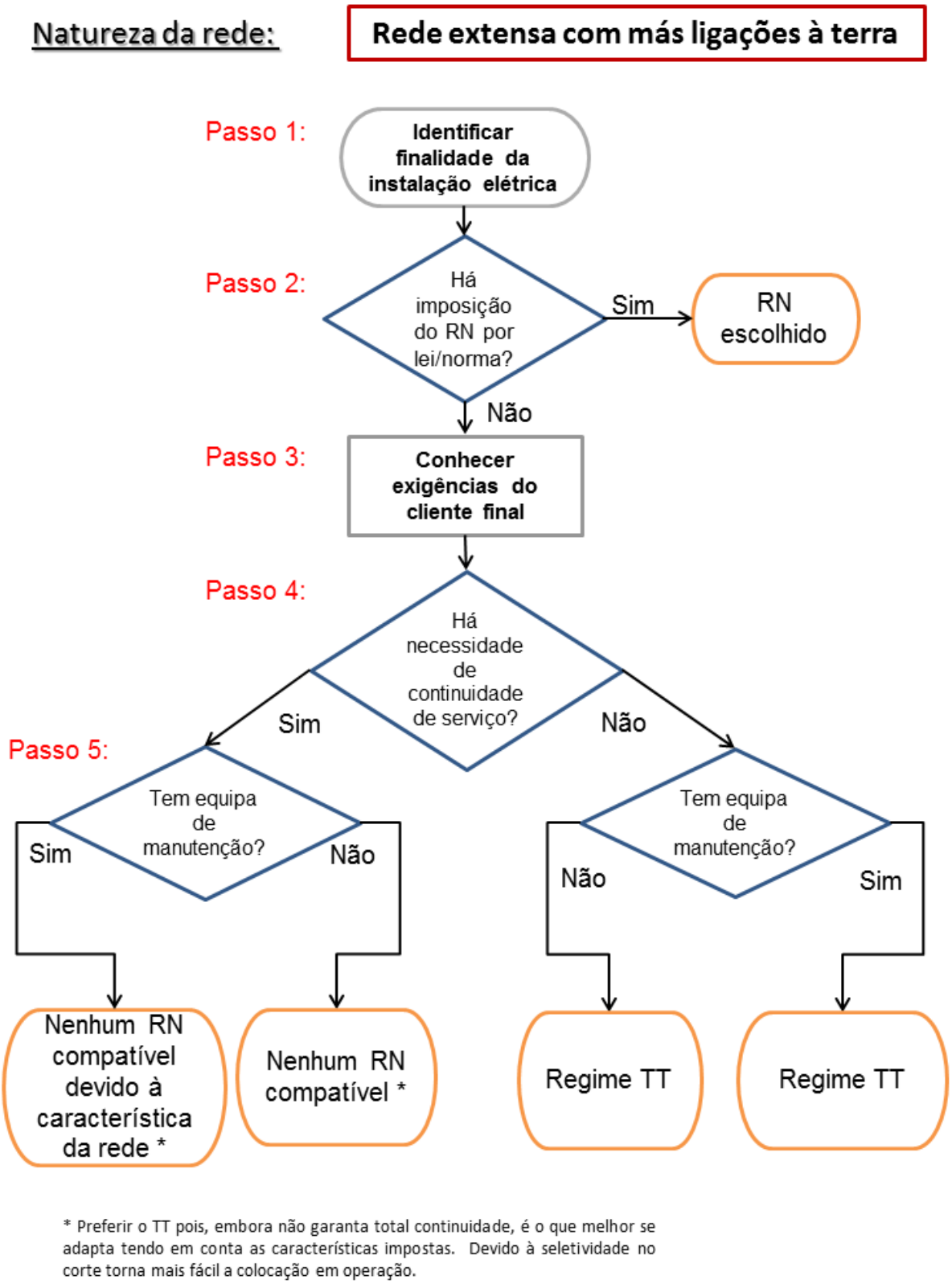

Natureza da rede:
Rede extensa com más ligações à terra
Passo 1:
Identificar finalidade da instalação elétrica
Passo 2:
Há imposição do RN por lei/norma?
Sim
RN escolhido
Não
Passo 3:
Conhecer exigências do cliente final
Passo 4:
Há necessidade de continuidade de serviço?
Sim
Não
Passo 5:
Tem equipa de manutenção?
Sim
Não
Tem equipa de manutenção?
Não
Sim
Nenhum RN compatível devido à característica da rede *
Nenhum RN compatível *
Regime TT
Regime TT
* Preferir o TT pois, embora não garanta total continuidade, é o que melhor se adapta tendo em conta as características impostas. Devido à seletividade no corte torna mais fácil a colocação em operação.

**Figura 8.5 –** Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede extensa com más ligações à terra.

### 8.3.1.3 – Rede sujeita a perturbações (sobretensões)

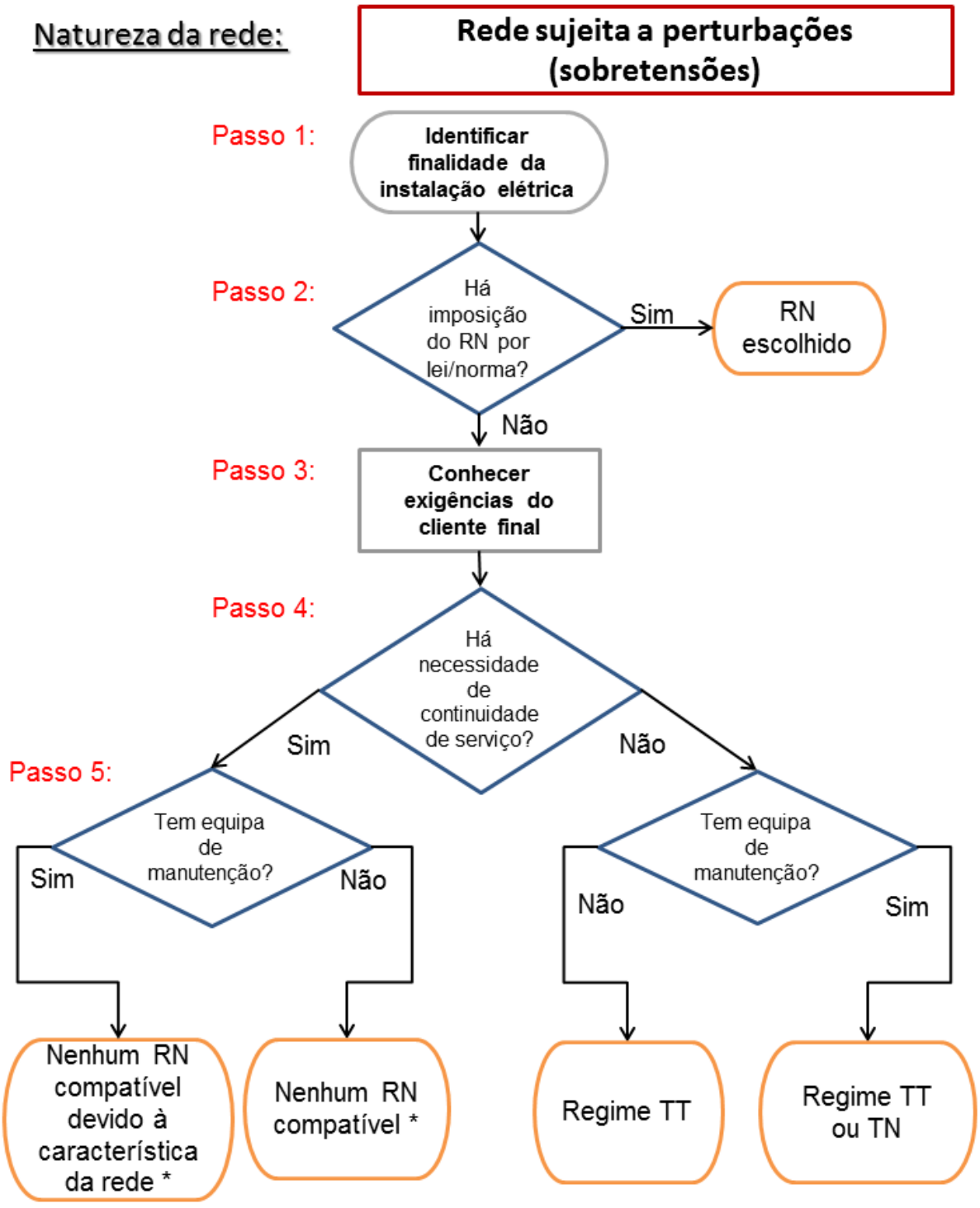

Natureza da rede:
Rede sujeita a perturbações (sobretensões)
Passo 1:
Identificar finalidade da instalação elétrica
Passo 2:
Há imposição do RN por lei/norma?
Sim
RN escolhido
Não
Passo 3:
Conhecer exigências do cliente final
Passo 4:
Há necessidade de continuidade de serviço?
Sim
Não
Passo 5:
Tem equipa de manutenção?
Sim
Não
Tem equipa de manutenção?
Não
Sim
Nenhum RN compatível devido à característica da rede *
Nenhum RN compatível *
Regime TT
Regime TT ou TN
* Preferir o TT pois, embora não garanta total continuidade, é o que melhor se adapta tendo em conta as características impostas. Devido à seletividade no corte torna mais fácil a colocação em operação.

**Figura 8.6 –** Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede sujeita a perturbações (sobretensões).

### 8.3.1.4 – Rede com correntes de fuga elevadas (>500mA)

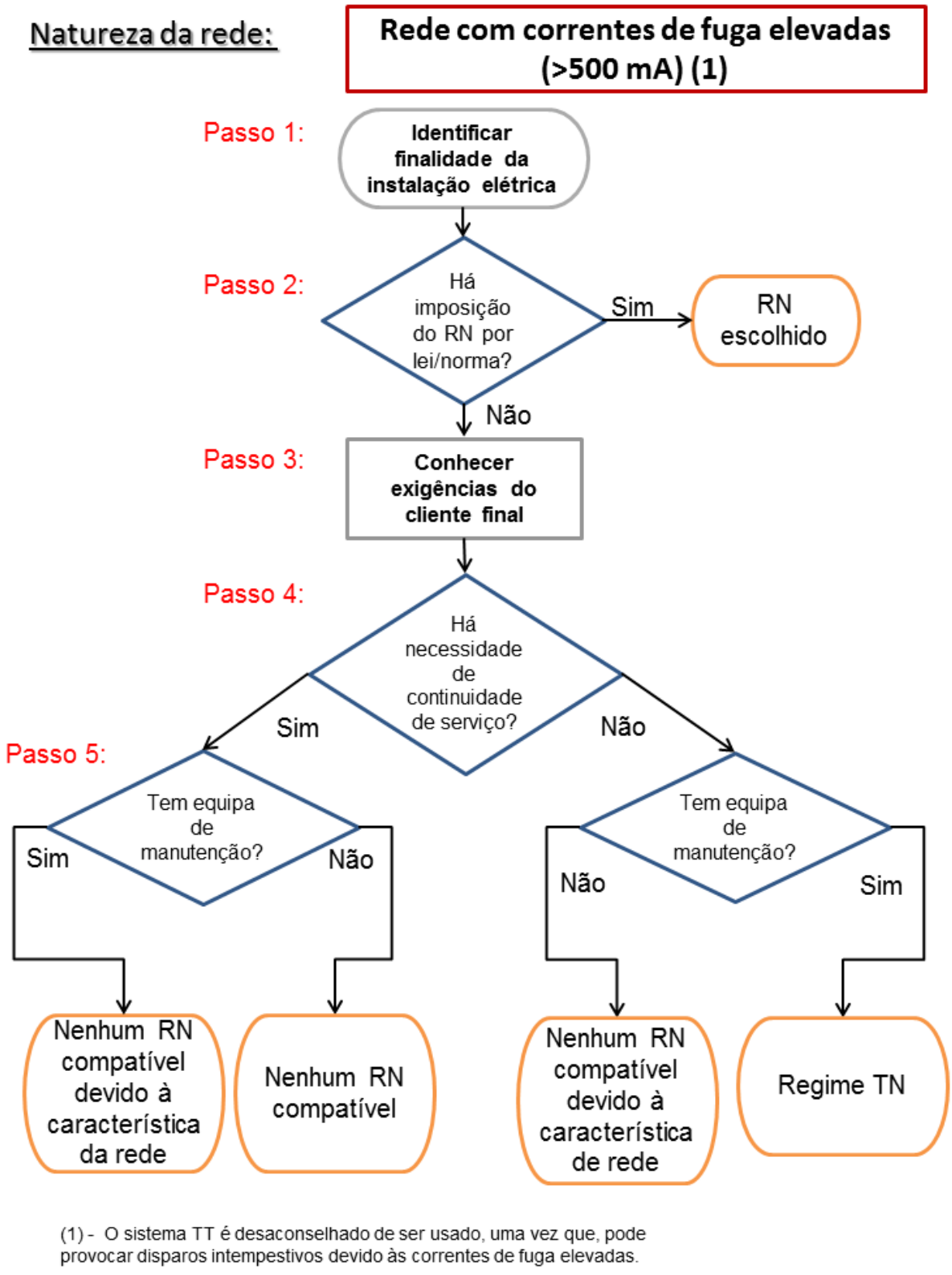



**Figura 8.7 –** Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede com correntes de fuga elevadas (>500mA).

### 8.3.1.5 – Rede com linhas aéreas

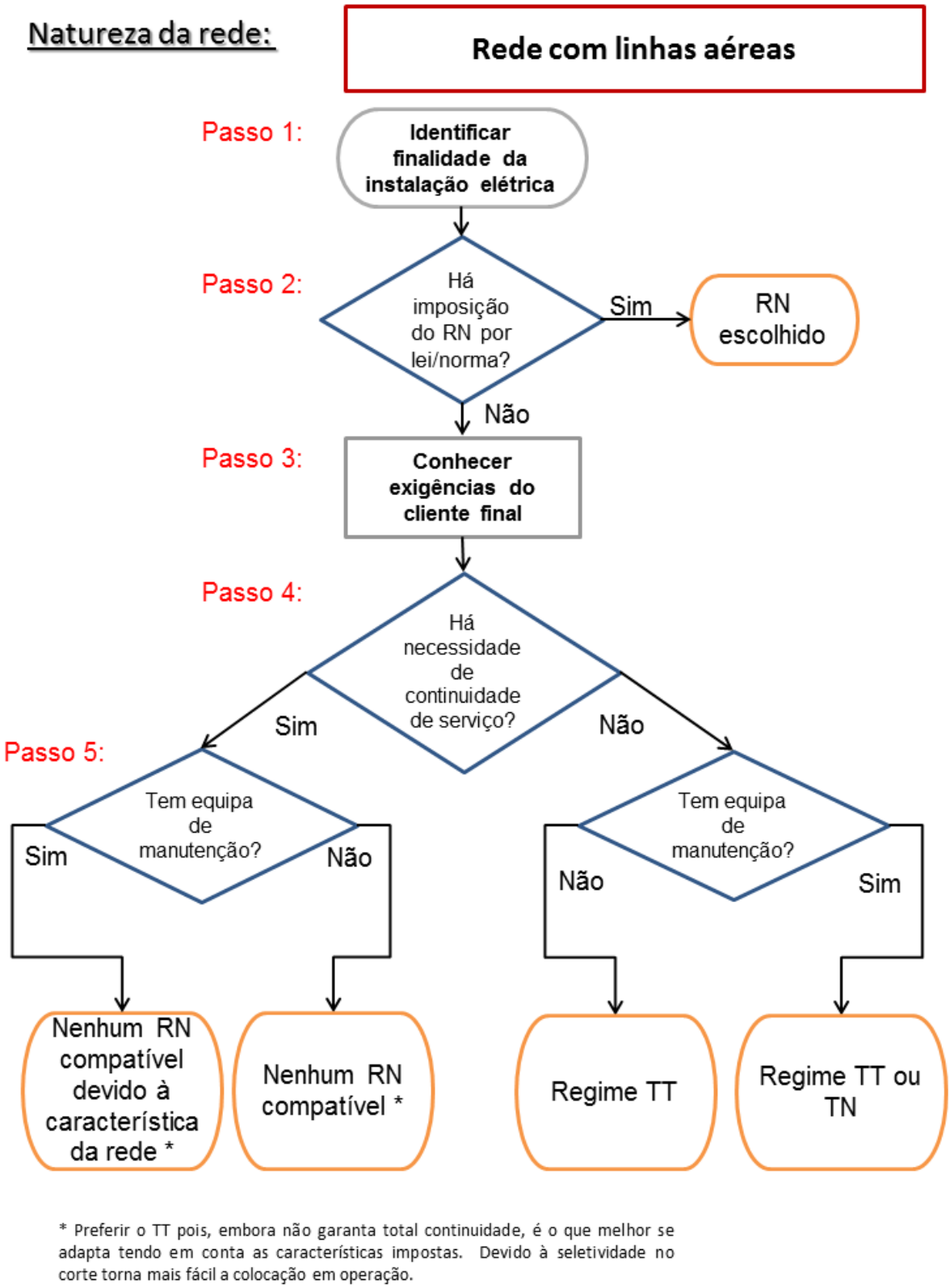

Natureza da rede:
Rede com linhas aéreas
Passo 1:
Identificar finalidade da instalação elétrica
Passo 2:
Há imposição do RN por lei/norma?
Sim
RN escolhido
Não
Passo 3:
Conhecer exigências do cliente final
Passo 4:
Há necessidade de continuidade de serviço?
Sim
Não
Passo 5:
Tem equipa de manutenção?
Sim
Não
Tem equipa de manutenção?
Não
Sim
Nenhum RN compatível devido à característica da rede *
Nenhum RN compatível *
Regime TT
Regime TT ou TN
* Preferir o TT pois, embora não garanta total continuidade, é o que melhor se adapta tendo em conta as características impostas. Devido à seletividade no corte torna mais fácil a colocação em operação.

**Figura 8.8 –** Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede com linhas aéreas.

## 8.3.1.6 – Rede com grupo de emergência

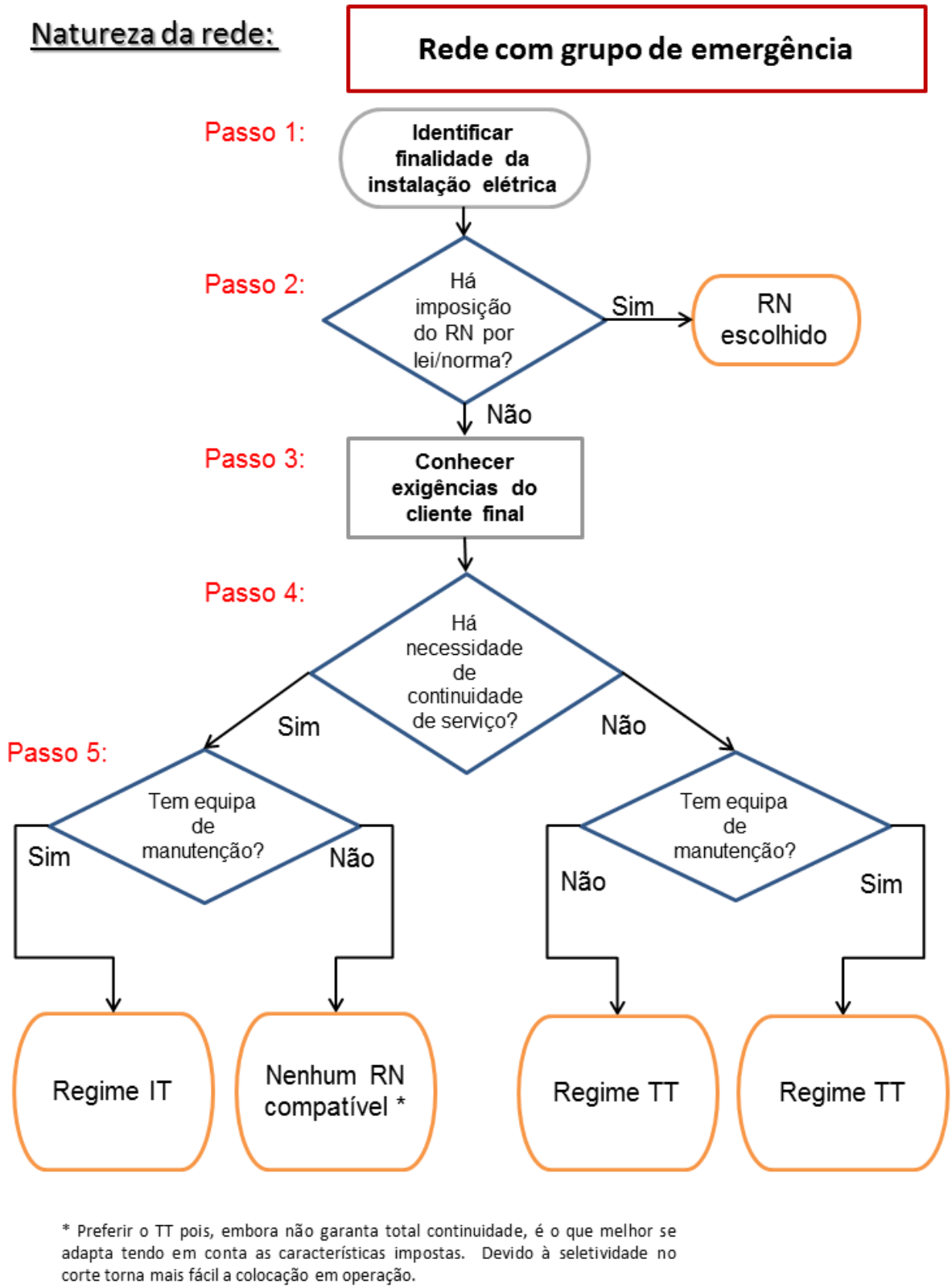



**Figura 8.9 –** Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede com grupo de emergência.

## 8.3.2 – Escolha do RN tendo em conta a NATUREZA DOS RECETORES

### 8.3.2.1 – Recetores sensíveis a grandes correntes de defeito

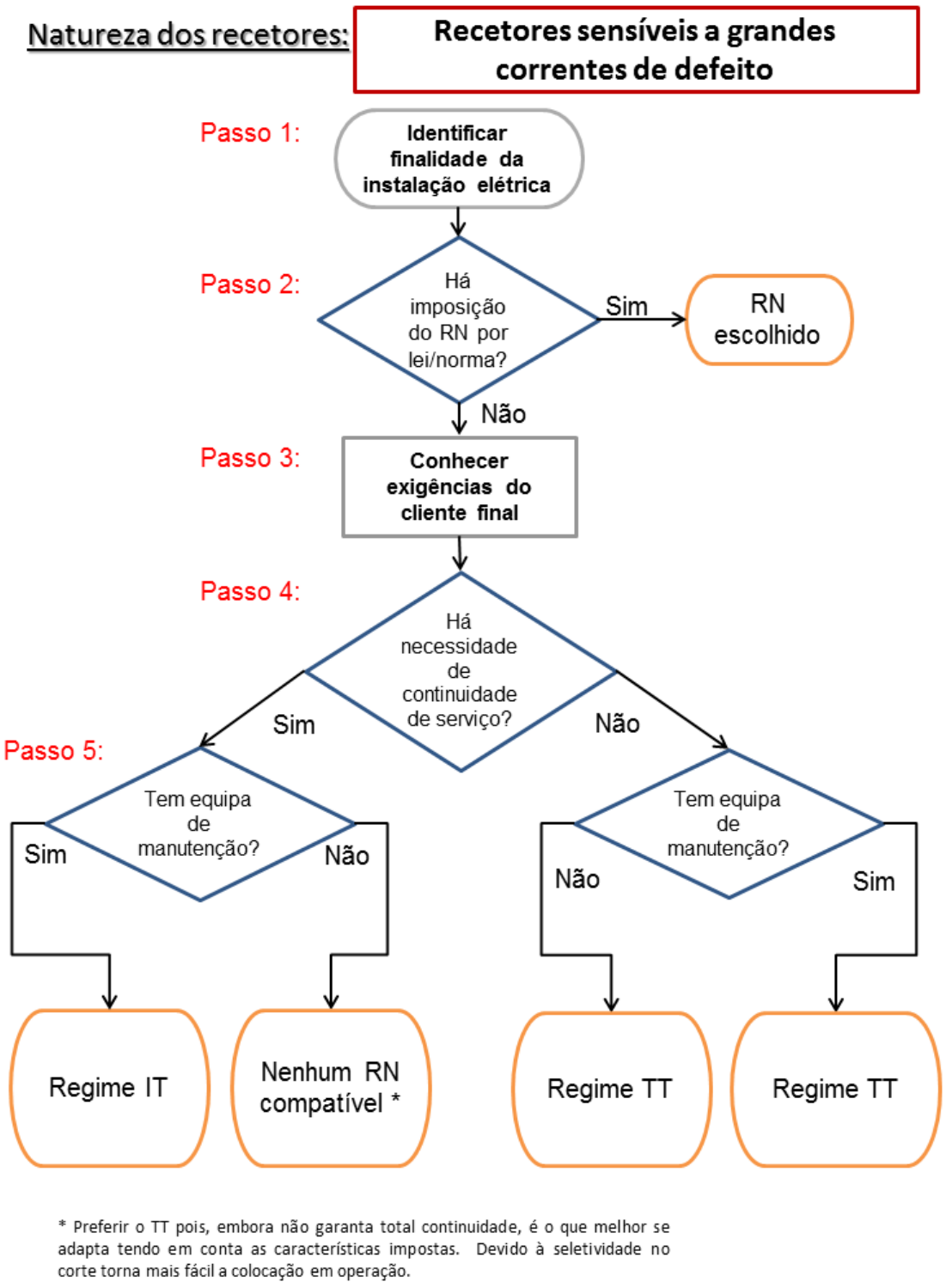



**Figura 8.10 –** Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede com recetores sensíveis a grandes correntes de defeito.

### 8.3.2.2 – Recetores com baixo nível de isolamento (fornos, aparelhos de soldar, cozinhas industriais…)

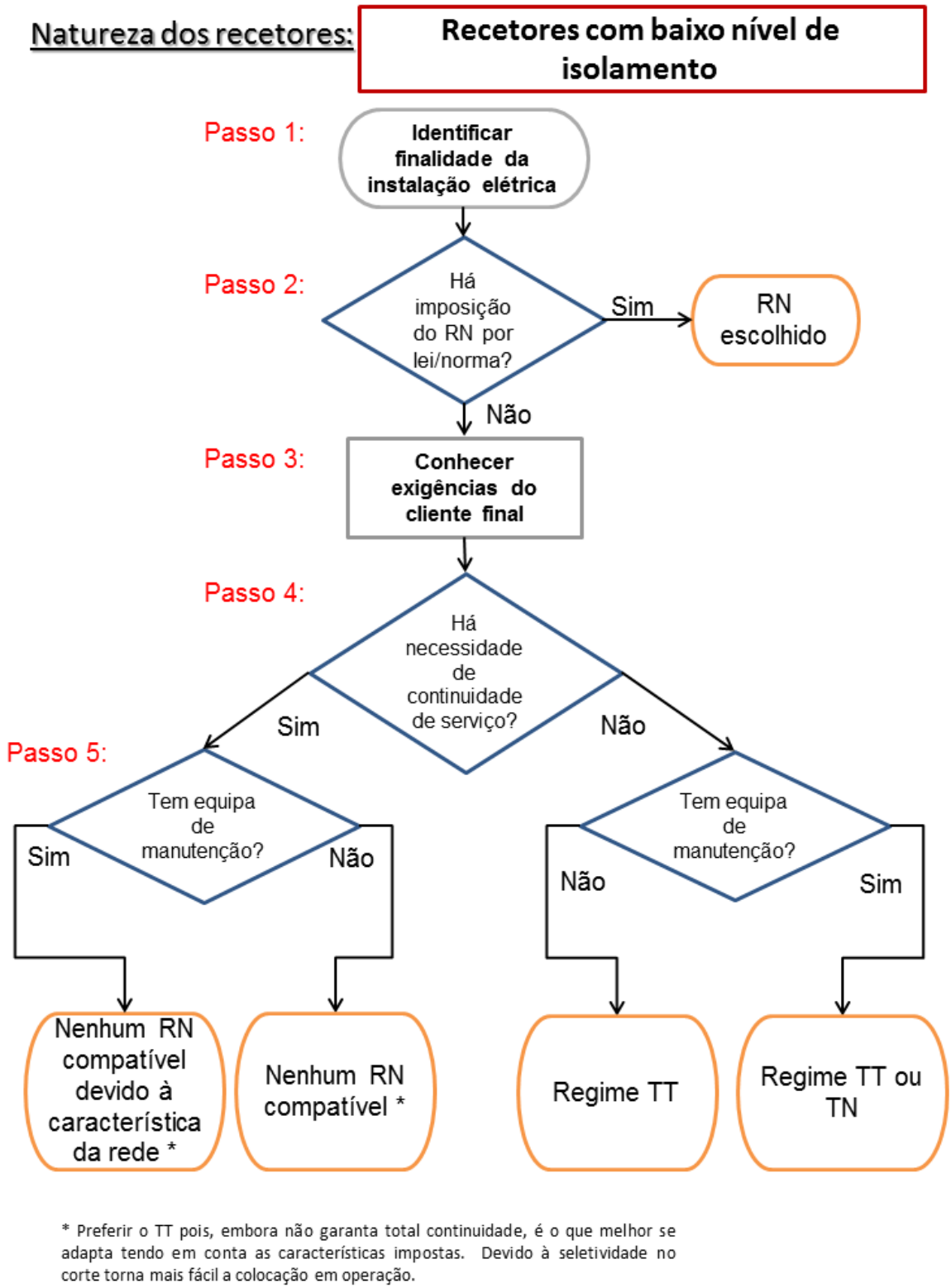

Natureza dos recetores:
Recetores com baixo nível de isolamento
Passo 1:
Identificar finalidade da instalação elétrica
Passo 2:
Há imposição do RN por lei/norma?
Sim
RN escolhido
Não
Passo 3:
Conhecer exigências do cliente final
Passo 4:
Há necessidade de continuidade de serviço?
Sim
Não
Passo 5:
Tem equipa de manutenção?
Sim
Não
Tem equipa de manutenção?
Não
Sim
Nenhum RN compatível devido à característica da rede *
Nenhum RN compatível *
Regime TT
Regime TT ou TN
* Preferir o TT pois, embora não garanta total continuidade, é o que melhor se adapta tendo em conta as características impostas. Devido à seletividade no corte torna mais fácil a colocação em operação.

**Figura 8.11 –** Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede com recetores com baixo nível de isolamento.

### 8.3.2.3 – Instalação com numerosos recetores portáteis monofásicos

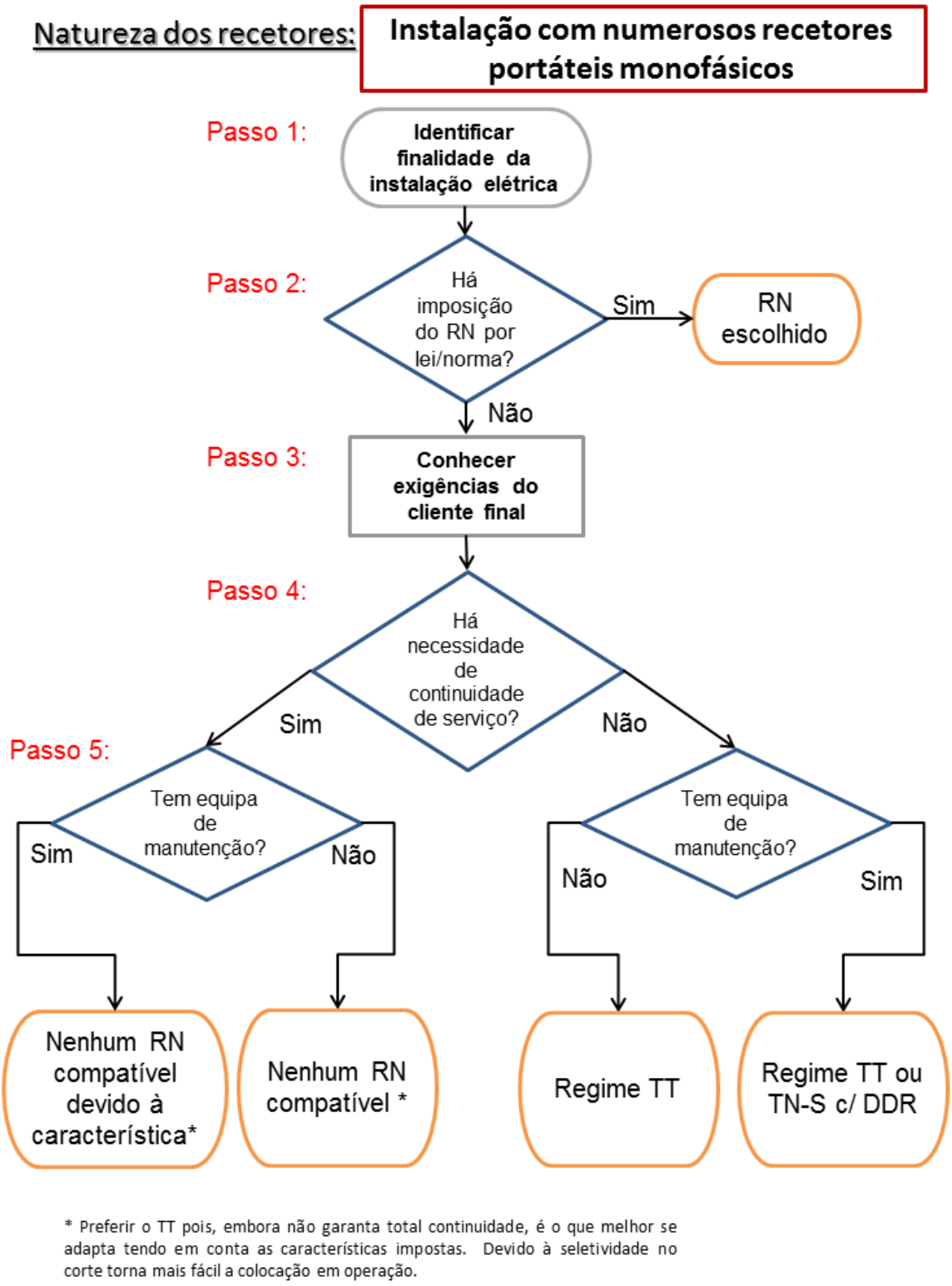

Natureza dos recetores:
Instalação com numerosos recetores portáteis monofásicos
Passo 1:
Identificar finalidade da instalação elétrica
Passo 2:
Há imposição do RN por lei/norma?
Sim
RN escolhido
Não
Passo 3:
Conhecer exigências do cliente final
Passo 4:
Há necessidade de continuidade de serviço?
Sim
Não
Passo 5:
Tem equipa de manutenção?
Sim
Não
Tem equipa de manutenção?
Não
Sim
Nenhum RN compatível devido à característica*
Nenhum RN compatível *
Regime TT
Regime TT ou TN-S c/ DDR
* Preferir o TT pois, embora não garanta total continuidade, é o que melhor se adapta tendo em conta as características impostas. Devido à seletividade no corte torna mais fácil a colocação em operação.

**Figura 8.12 –** Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma instalação com numerosos recetores portáteis monofásicos.

## 8.3.2.3 – Recetores de risco (por exemplo guinchos)

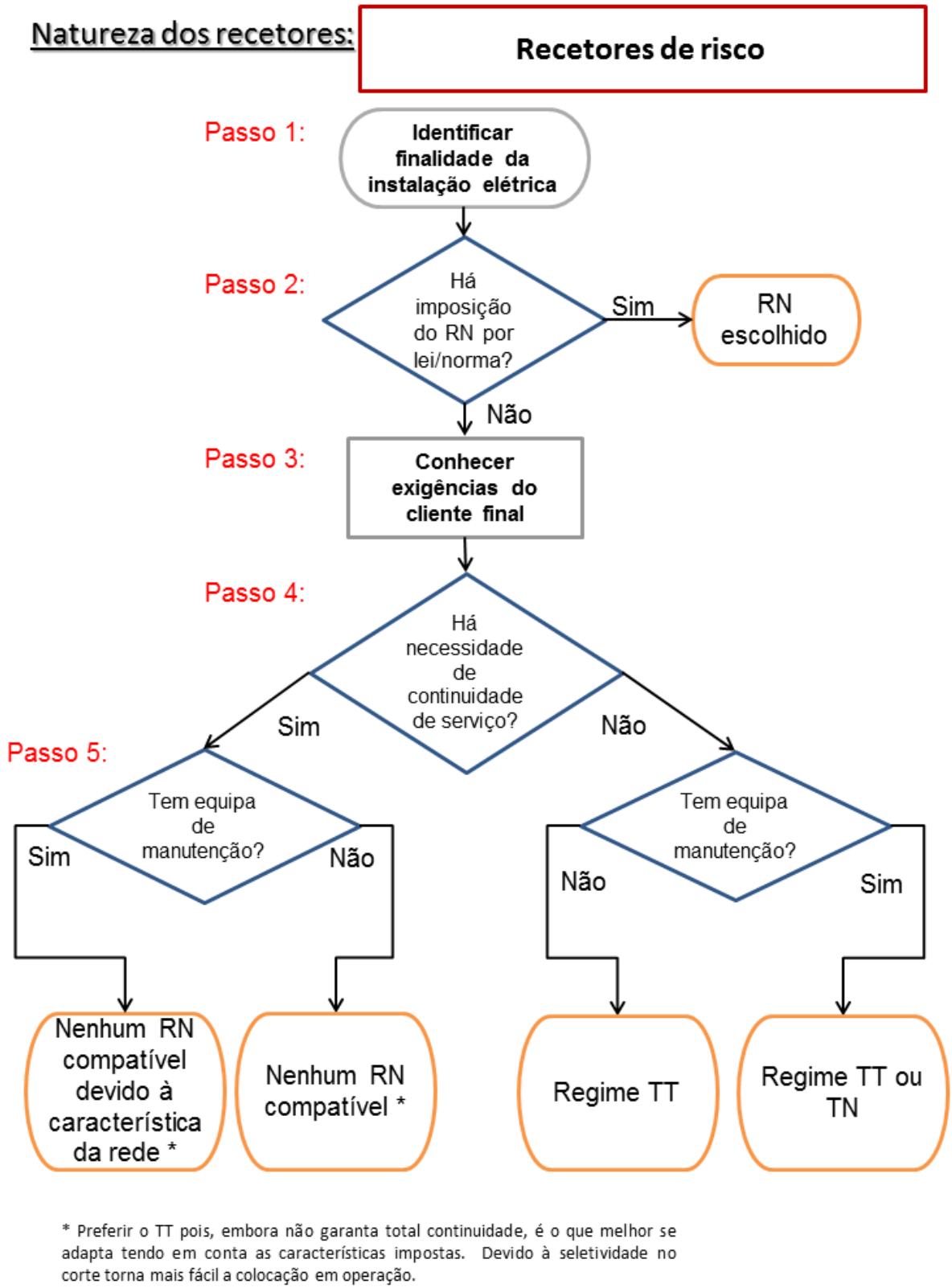

Natureza dos recetores:
Recetores de risco
Passo 1:
Identificar finalidade da instalação elétrica
Passo 2:
Há imposição do RN por lei/norma?
Sim
RN escolhido
Não
Passo 3:
Conhecer exigências do cliente final
Passo 4:
Há necessidade de continuidade de serviço?
Sim
Não
Passo 5:
Tem equipa de manutenção?
Sim
Não
Tem equipa de manutenção?
Não
Sim
Nenhum RN compatível devido à característica da rede *
Nenhum RN compatível *
Regime TT
Regime TT ou TN
* Preferir o TT pois, embora não garanta total continuidade, é o que melhor se adapta tendo em conta as características impostas. Devido à seletividade no corte torna mais fácil a colocação em operação.

**Figura 8.13 –** Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede com recetores de risco.

### 8.3.2.4 – Alimentação de sistemas de controlo e comando

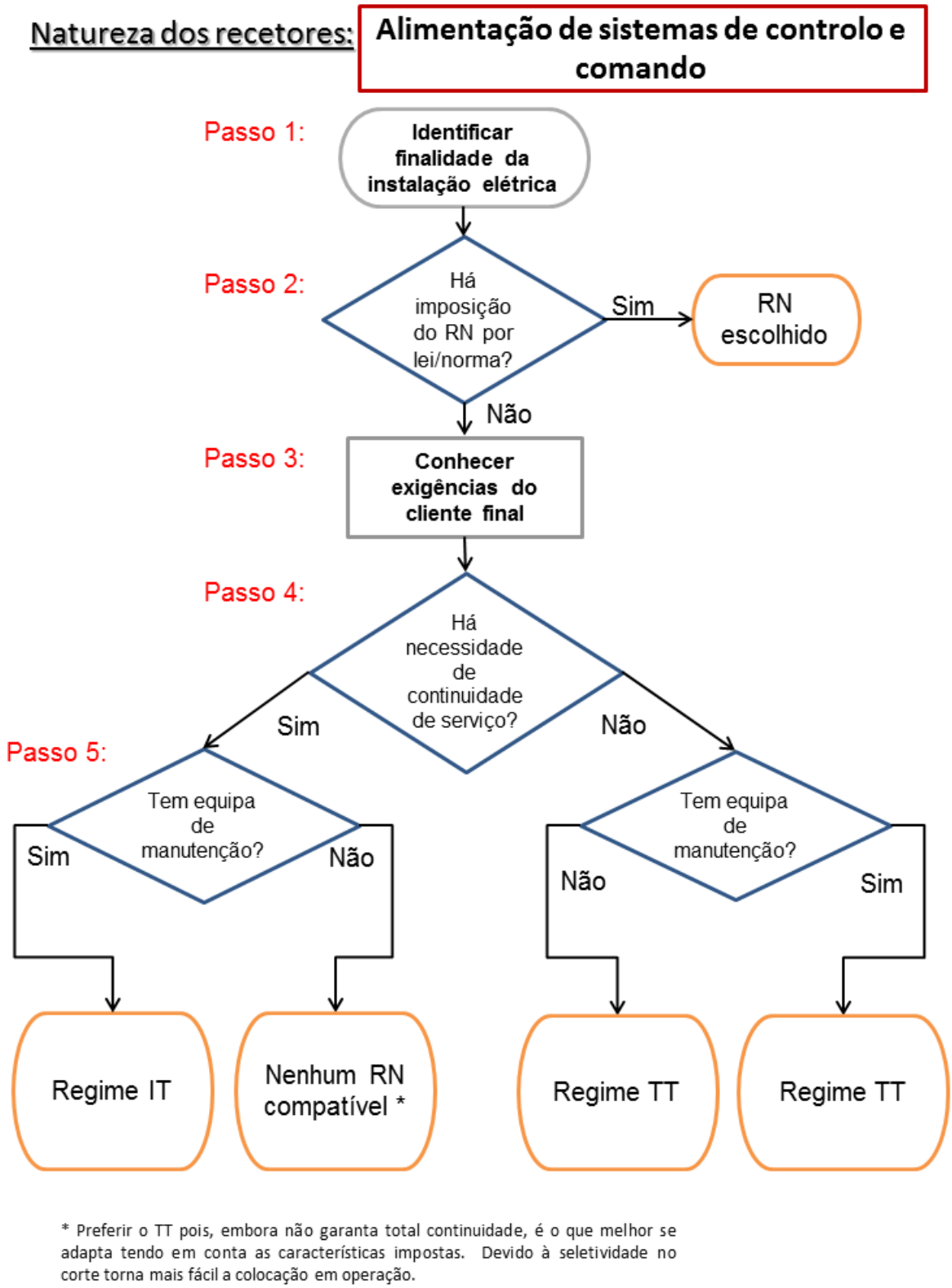



**Figura 8.14 –** Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta a alimentação de sistemas de controlo e comando.

## 8.3.3 – Escolha do RN tendo em conta “OUTRAS CARATERÍSTICAS”

### 8.3.3.1 – Instalação com possibilidade elevada de modificações

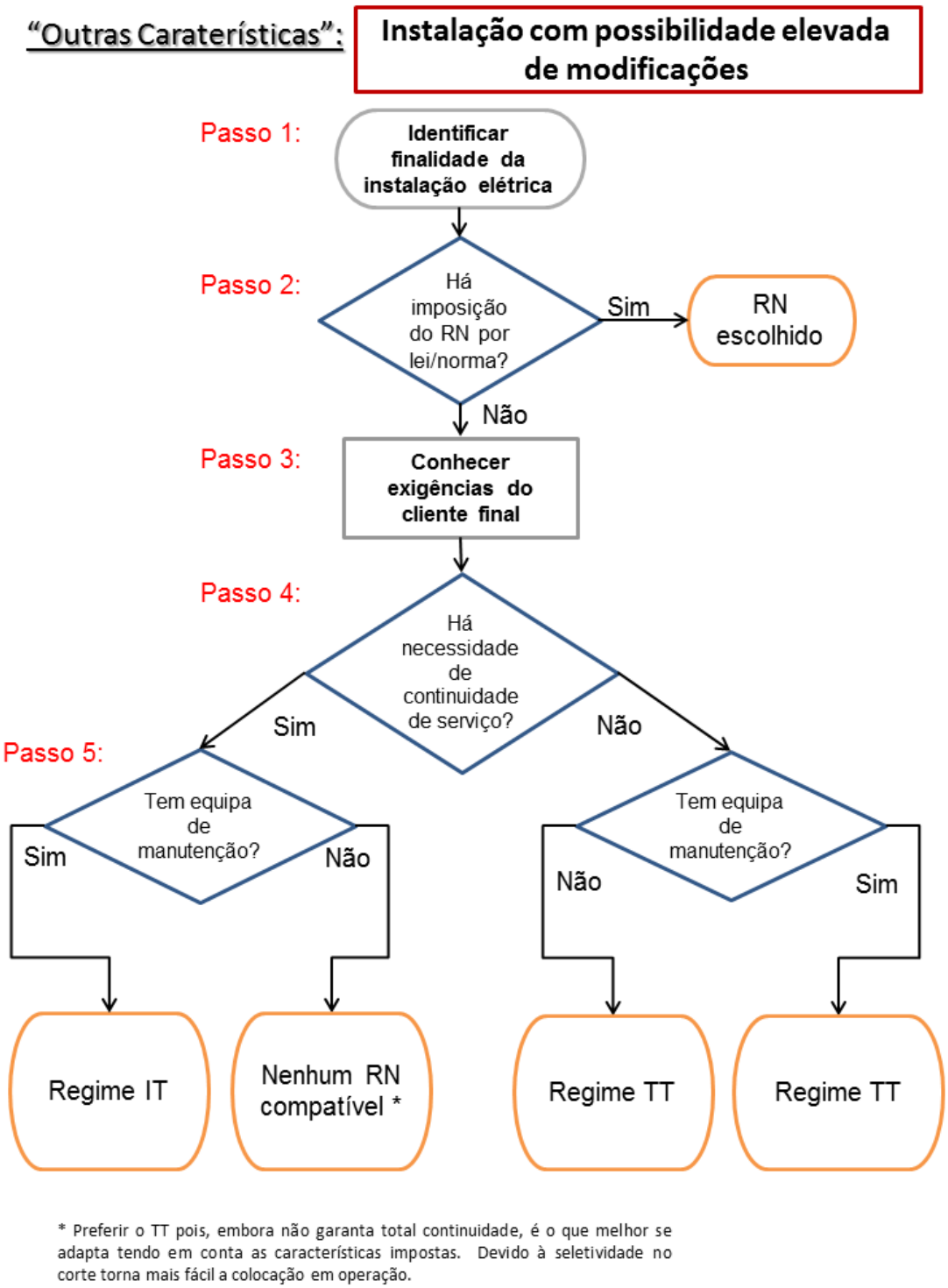



**Figura 8.15 –** Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma instalação com possibilidade levada de modificações.

### 8.3.3.2 – Instalações com incerteza no comportamento dos sistemas de terra

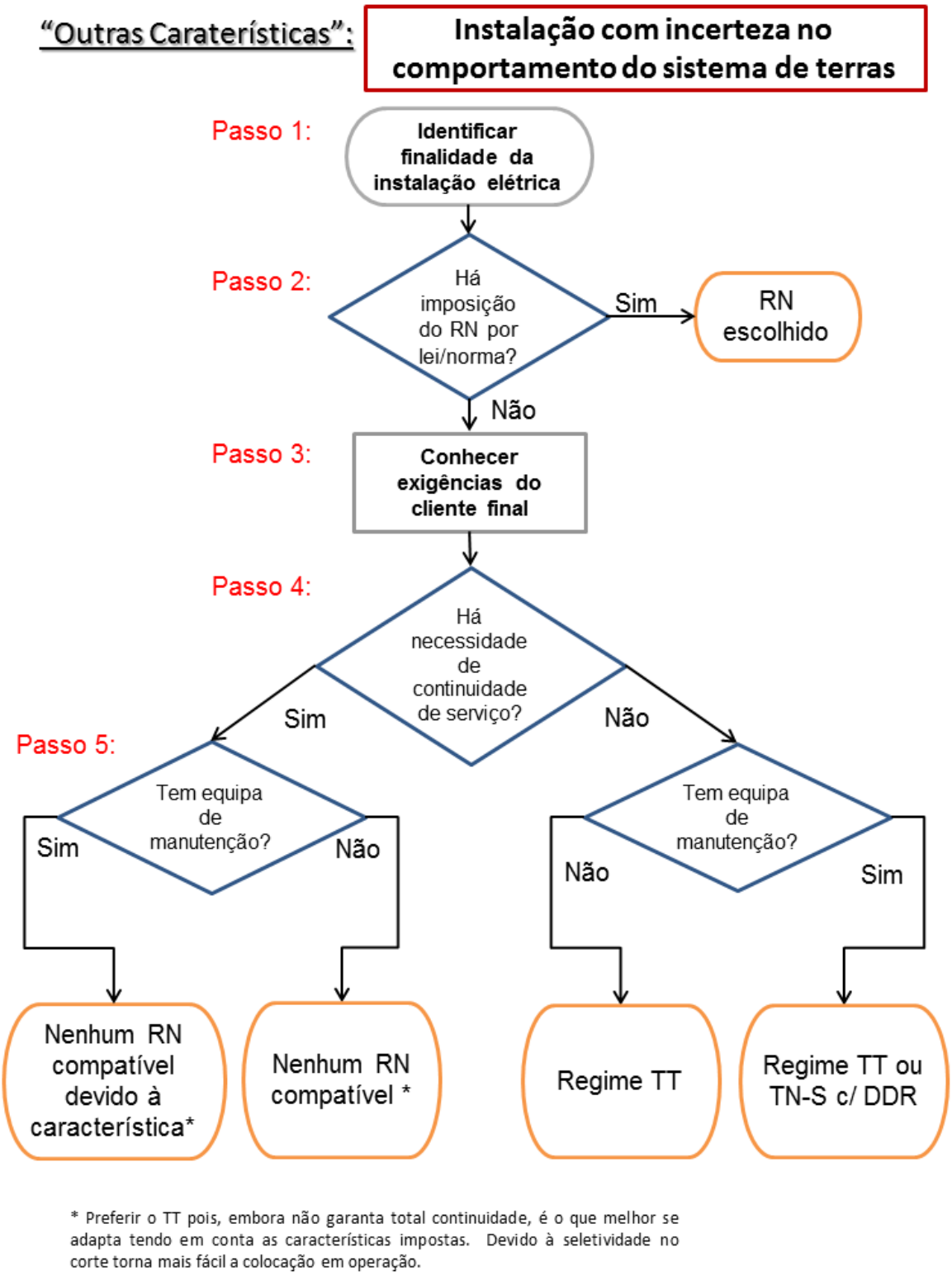

"Outras Caraterísticas":
Instalação com incerteza no comportamento do sistema de terras
Passo 1:
Identificar finalidade da instalação elétrica
Passo 2:
Há imposição do RN por lei/norma?
Sim
RN escolhido
Não
Passo 3:
Conhecer exigências do cliente final
Passo 4:
Há necessidade de continuidade de serviço?
Sim
Não
Passo 5:
Tem equipa de manutenção?
Sim
Não
Tem equipa de manutenção?
Não
Sim
Nenhum RN compatível devido à característica*
Nenhum RN compatível *
Regime TT
Regime TT ou TN-S c/ DDR
* Preferir o TT pois, embora não garanta total continuidade, é o que melhor se adapta tendo em conta as características impostas. Devido à seletividade no corte torna mais fácil a colocação em operação.

**Figura 8.16 –** Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma instalação com incerteza no comportamento do sistema de terras.

### 8.3.3.3 – Presença de equipamentos eletrónicos (computadores, autómatos programáveis …)

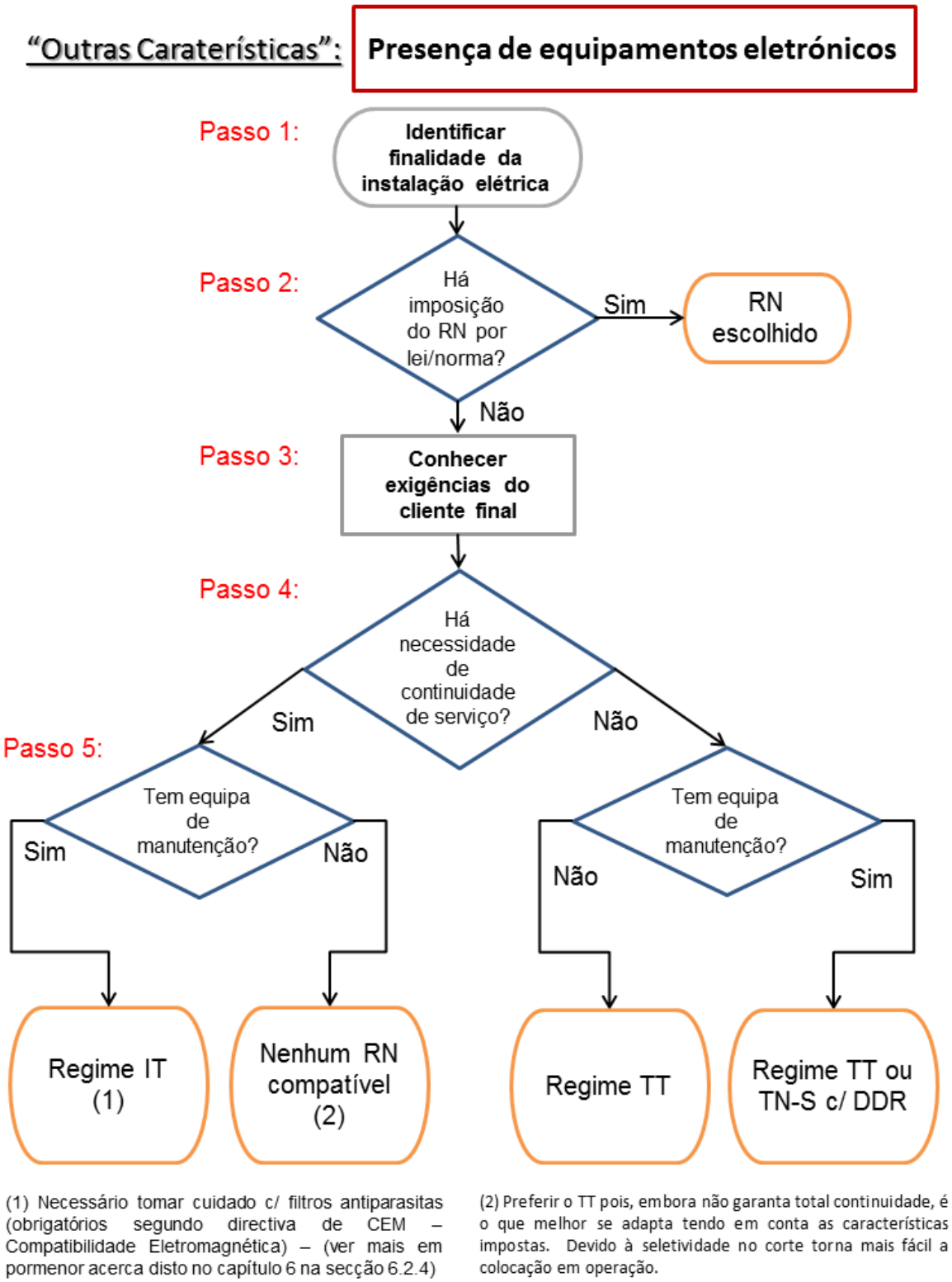

"Outras Caraterísticas":
Presença de equipamentos eletrónicos
Passo 1:
Identificar finalidade da instalação elétrica
Passo 2:
Há imposição do RN por lei/norma?
Sim
RN escolhido
Não
Passo 3:
Conhecer exigências do cliente final
Passo 4:
Há necessidade de continuidade de serviço?
Sim
Não
Passo 5:
Tem equipa de manutenção?
Sim
Não
Tem equipa de manutenção?
Não
Sim
Regime IT (1)
Nenhum RN compatível (2)
Regime TT
Regime TT ou TN-S c/ DDR
(1) Necessário tomar cuidado c/ filtros antiparasitas (obrigatórios segundo directiva de CEM – Compatibilidade Eletromagnética) – (ver mais em pormenor acerca disto no capítulo 6 na secção 6.2.4)
(2) Preferir o TT pois, embora não garanta total continuidade, é o que melhor se adapta tendo em conta as características impostas. Devido à seletividade no corte torna mais fácil a colocação em operação.

**Figura 8.17 –** Fluxograma para a seleção do regime de neutro tendo em conta uma rede com presença de equipamentos eletrónicos.

## 8.4 – Alterações a efetuar no caso de ser necessária a mudança do Regime de Neutro de uma instalação elétrica já existente

As alterações indicadas em cada caso apenas referem as alterações mínimas obrigatórias.

### 8.4.1 – Caso de Mudança do Sistema TT para TN

De TT:

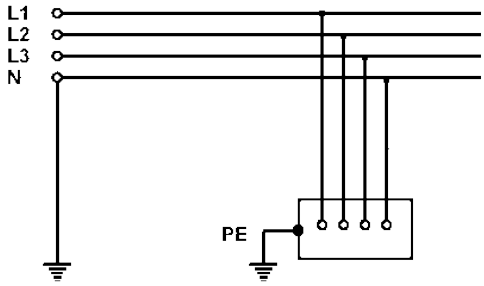



**Figura 8.18 –** Sistema TT [8].

Para TN:

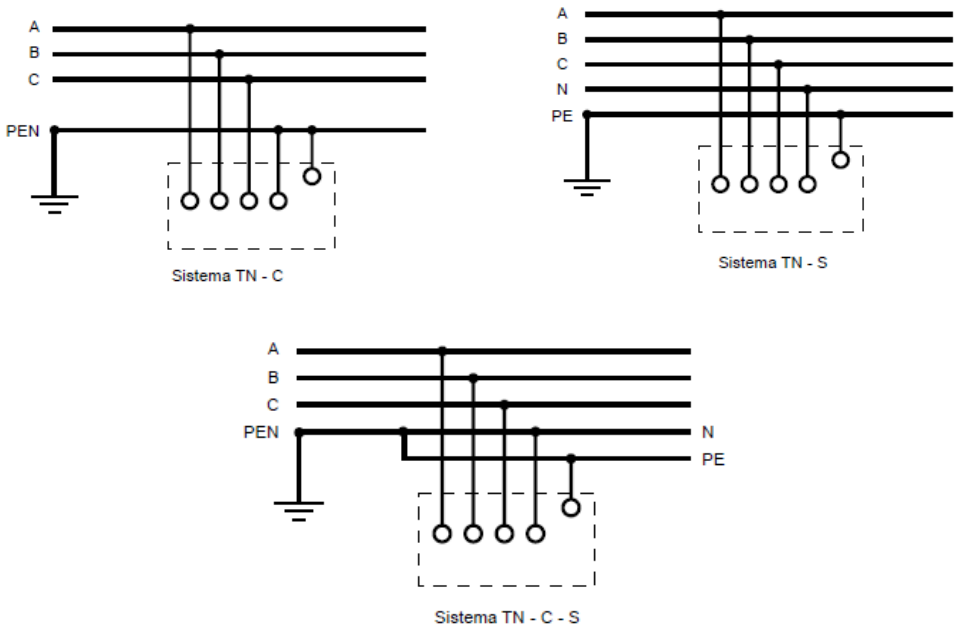



**Figura 8.19 –** Sistema TN [8].

- Necessário comunicar ao distribuidor de BT no caso da instalação ser alimentada diretamente de um PT público;

- Separação do neutro e do condutor de proteção (TN-S) quando:
  - Canalizações são amovíveis;
  - Secção do neutro <10mm$^2$, se de cobre, ou <16mm$^2$ se de alumínio;
  - Necessidade de proteção de recetor ou proteção contra risco de incêndio/explosão através de aparelho diferencial;
- No caso de não se verificar o ponto anterior, o condutor de neutro (N) passa a condutor PEN (TN-C) e terá de ser dimensionado de modo a suportar as correntes de defeito (curto-circuito);
- Conetar o borne de massa do recetor ao condutor PEN (TN-C) ou ao condutor PE (TN-S);
- Implementar a repartição das ligações à terra ao longo do condutor PEN (TN-C) ou ao longo do condutor PE (TN-S), uma vez que é necessário garantir que se mantenha ao potencial da terra;
- Quanto à proteção de pessoas, deve-se garantir o corte de alimentação ao primeiro defeito de isolamento através de dispositivos de proteção de defeito entre fases (por exemplo os disjuntores ou fusíveis) (TN-C/TN-S) ou através de aparelho diferencial (TN-S);

## 8.4.2 – Caso de Mudança do Sistema TT para IT

De TT:

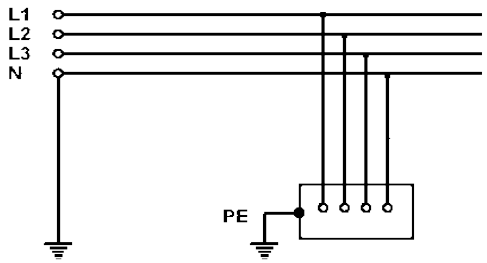



**Figura 8.20 –** Sistema TT [8].

Para IT:

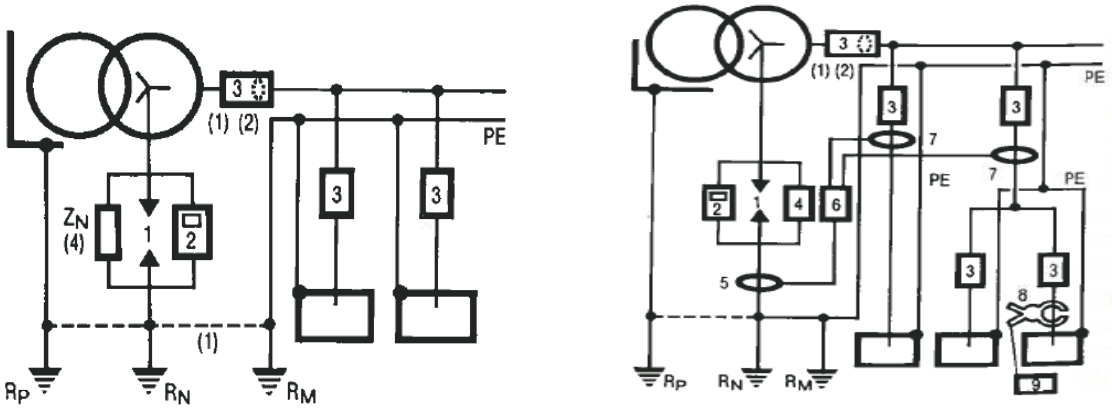



**Figura 8.21 –** Sistema IT, esquema (a) (esquerda) e esquema (b) (direita) [1].

Alterações a efetuar no caso de ser necessária a mudança do Regime de Neutro de uma instalação elétrica já existente

**A. Transformar no sistema IT do esquema (a) o qual permite a localização de defeito por abertura sucessiva de circuitos da instalação:**

- O neutro do transformador tem de ser isolado;
- Incluir limitador de sobretensões (1-ver esquema a);
- Incluir aparelho de controlo permanente de isolamento e de sinalização do primeiro defeito (2-ver esquema a);
- Incluir corte de energia quando se dá o segundo defeito (proteção clássica) (3-ver esquema a);
- Se o neutro for distribuído, deve obrigatoriamente ser protegido;
- As massas metálicas dos recetores são ligadas diretamente à terra ou é feita uma ligação equipotencial entre as massas dos recetores e componentes metálicos exteriores à instalação elétrica e ligados a um único elétrodo de terra;

**B. Transformar no sistema IT do esquema (b) o qual permite a localização de defeito sem corte dos circuitos através de dispositivo de procura de defeito sob tensão:**

Além de incluir os mesmos pontos que em A, deve possuir ainda:

- Gerador a 4Hz (4 -ver esquema b);
- Toro de referência (5 -ver esquema b);
- Recetor a 4Hz com comutador de seleção (6 -ver esquema b);
- Toro com sistema portátil (7 -ver esquema b);
- Pinça amperimétrica (8 -ver esquema b);
- Recetor portátil a 4Hz (9 -ver esquema b);

Nota:

- Se o elétrodo de terra do posto de transformação não estiver interligado com o elétrodo de terra das massas dos recetores é necessário instalar à cabeça da instalação um dispositivo diferencial de corrente residual (DDR).

## 8.4.3 – Caso de Mudança do Sistema TN para TT

De TN:

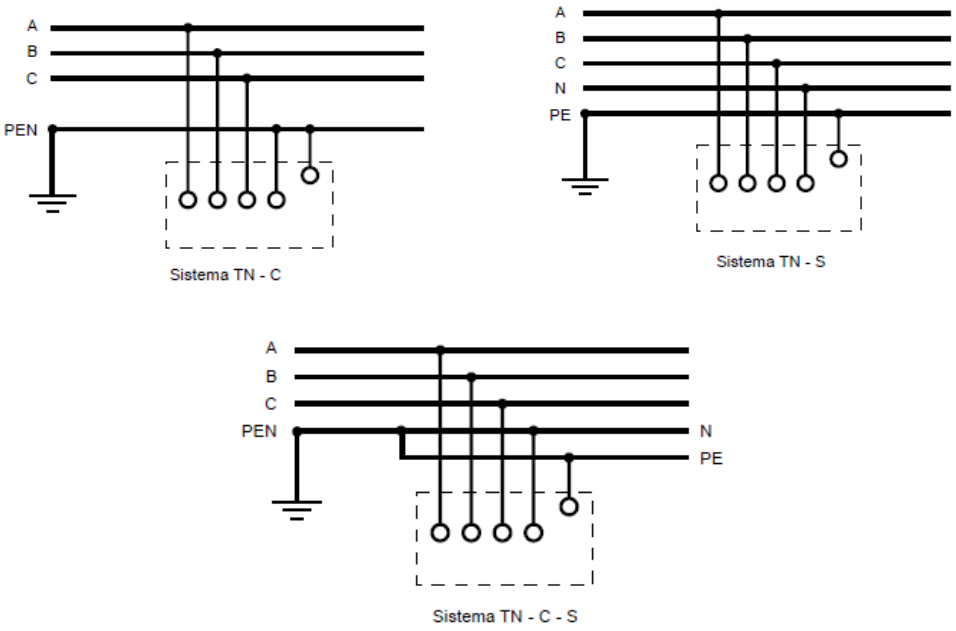



**Figura 8.22 –** Sistema TN [8].

Para TT:

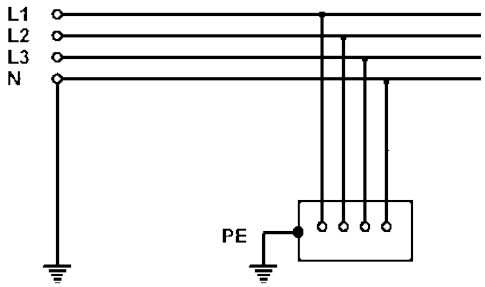



**Figura 8.23 –** Sistema TT [8].

- O condutor PEN (TN-C) passa a ser só condutor de neutro (N);
- O condutor de PE (TN-S) é suprimido;
- As massas metálicas dos recetores são ligadas diretamente à terra ou é feita uma ligação equipotencial entre as massas dos recetores e componentes metálicos exteriores à instalação elétrica e ligados a um único elétrodo de terra;

Alterações a efetuar no caso de ser necessária a mudança do Regime de Neutro de uma instalação elétrica já existente

- Proteção diferencial à cabeça da instalação com corte do circuito ao primeiro defeito de isolamento (esta topologia é mínima obrigatória e não garante seletividade, para outros casos em que se garante seletividade ver secção 5.5.2.2);
- Proteção clássica para cada circuito;

## 8.4.4 – Caso de Mudança do Sistema TN para IT

De TN:

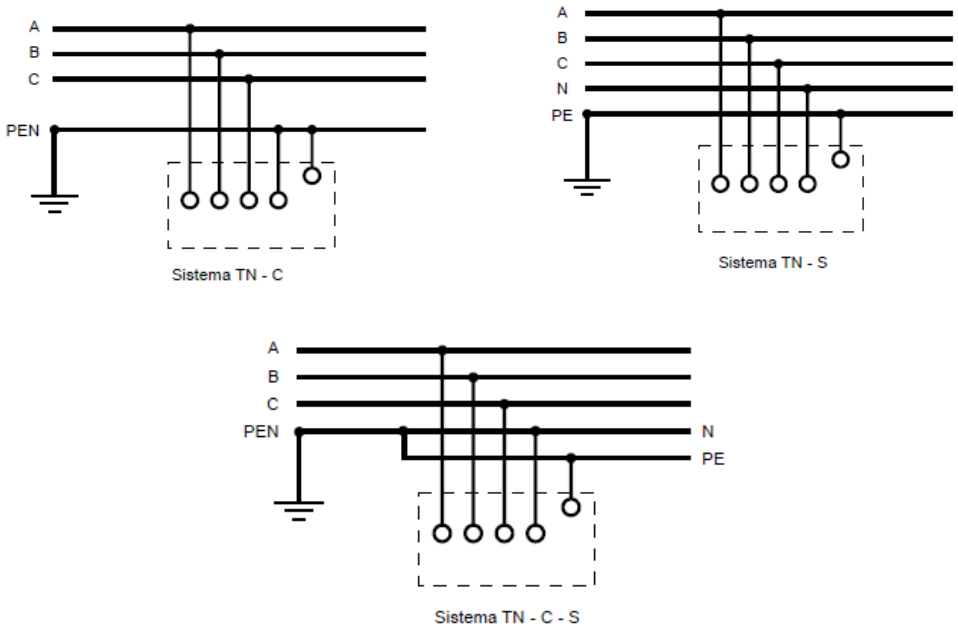



**Figura 8.24 –** Sistema TN [8].

Para IT:

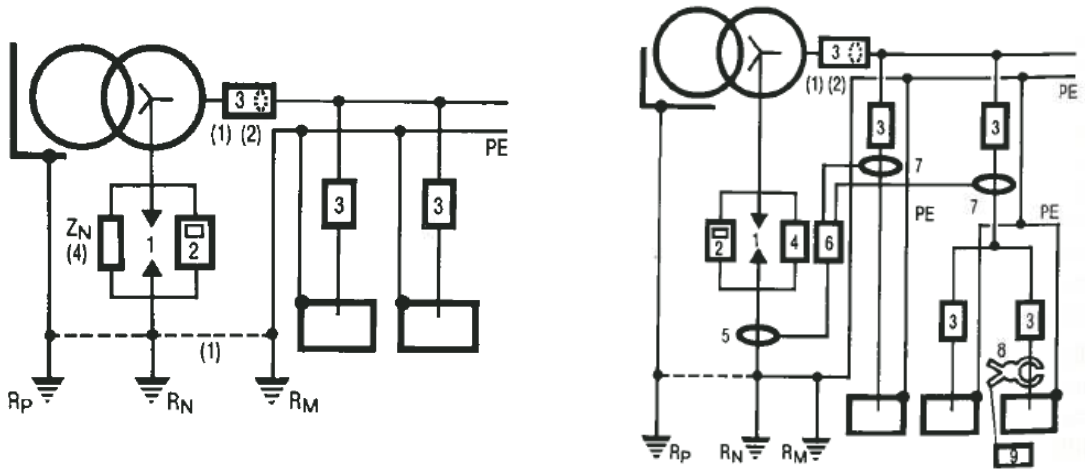



**Figura 8.25 –** Sistema IT, esquema (a) (esquerda) e esquema (b) (direita) [1].

**A. Transformar no sistema IT do esquema (a) o qual permite a localização de defeito por abertura sucessiva de circuitos da instalação:**

- O neutro do transformador tem de ser isolado;
- O condutor PEN (TN-C) passa a ser o neutro (N) ou suprime-se o condutor PE (TN-S);
- Incluir limitador de sobretensões (1-ver esquema a);
- Incluir aparelho de controlo permanente de isolamento e de sinalização do primeiro defeito (2-ver esquema a);
- Incluir corte de energia quando se dá o segundo defeito (proteção clássica) (3-ver esquema a);
- Se o neutro for distribuído, deve obrigatoriamente ser protegido;
- As massas metálicas dos recetores são ligadas diretamente à terra ou é feita uma ligação equipotencial entre as massas dos recetores e componentes metálicos exteriores à instalação elétrica e ligados a um único elétrodo de terra;

**B. Transformar no sistema IT do esquema (b) o qual permite a localização de defeito sem corte dos circuitos através de dispositivo de procura de defeito sob tensão:**

Além de incluir os mesmos pontos que em A, deve possuir ainda:

- Gerador a 4Hz (4 -ver esquema b);
- Toro de referência (5 -ver esquema b);
- Recetor a 4Hz com comutador de selecção (6 -ver esquema b);
- Toro com sistema portátil (7 -ver esquema b);
- Pinça amperimétrica (8 -ver esquema b);
- Recetor portátil a 4Hz (9 -ver esquema b);

Nota:

- Se o elétrodo de terra do posto de transformação não estiver interligado com o elétrodo de terra das massas dos recetores é necessário instalar à cabeça da instalação um dispositivo diferencial de corrente residual (DDR).

## 8.4.5 – Caso de Mudança do Sistema TN-C para TN-S

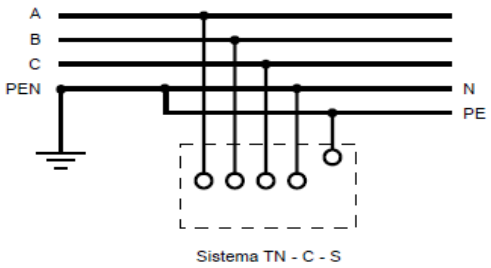



**Figura 8.26 –** Sistema TN-C-S [1].

- O condutor PEN é derivado e é formado o condutor PE (Proteção elétrica) e o condutor N (Neutro); (podem coexistir os dois RN, por esta esta ordem TN-C-S, na mesma instalação)
- As massas metálicas dos recetores são conetadas entre si e ligadas à terra ou são ligados individualmente diretamente à terra;
- Utilização de proteção diferencial para a proteção dos recetores individualmente ou conjuntos de recetores. Também é possível a proteção por aparelho contra sobreintensidades;

## 8.4.5 – Caso de Mudança do Sistema TN-S para TN-C

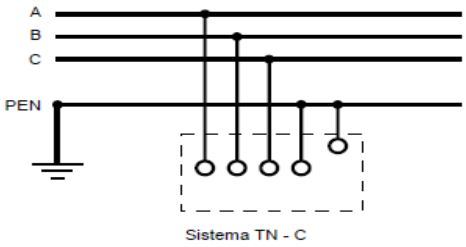



**Figura 8.27 –** Sistema TN-C [1].

Supondo a existência de uma instalação TN-S a qual pretendemos transformar em TN-C devemos: (não deve existir simultaneamente o TN-S seguido do TN-C, pelo que esta mudança de RN supõe a eliminação do TN-S)

- O condutor PE deve ser eliminado e o condutor neutro passa a condutor PEN (TN-C) e terá de ser dimensionado de modo a suportar as correntes de defeito (curto-circuito);
- Conetar o borne de massa do recetor ao condutor PEN (TN-C) ;
- Implementar a repartição das ligações à terra ao longo do condutor PEN (TN-C), uma vez que é necessário garantir que se mantenha ao potencial da terra;
- Quanto à proteção de pessoas, deve-se garantir o corte de alimentação ao primeiro defeito de isolamento através de dispositivos de proteção de defeito entre fases (por exemplo os disjuntores ou fusíveis);

## 8.4.6 – Caso de Mudança do Sistema IT para TN

De IT:

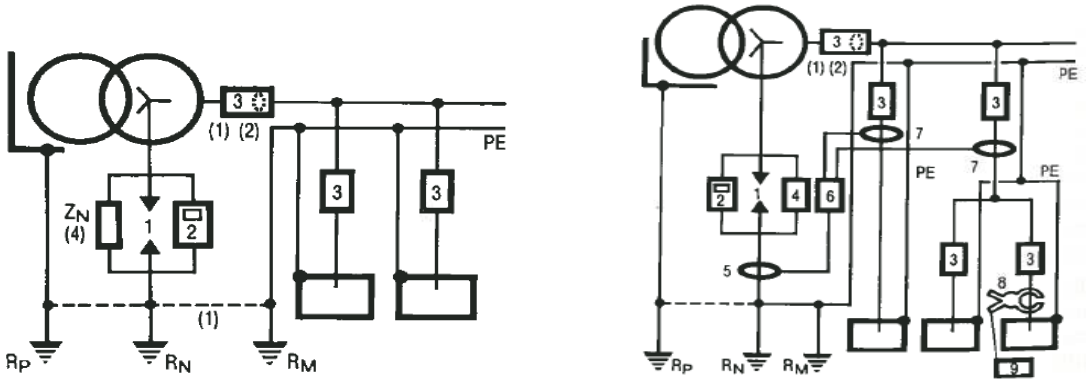



**Figura 8.28 –** Sistema IT, esquema (a) (esquerda) e esquema (b) (direita) [1].

Para TN:

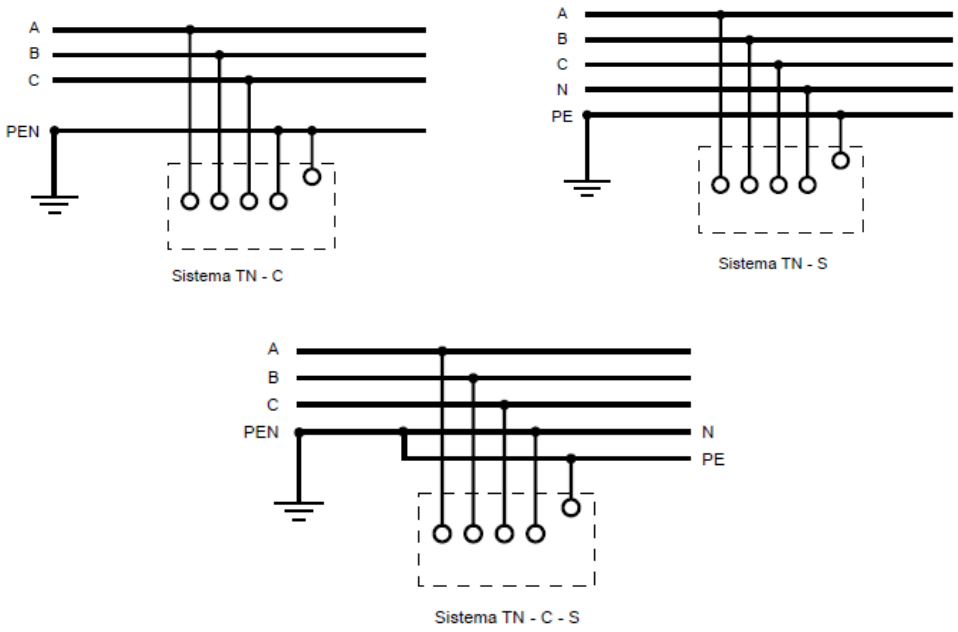



**Figura 8.29 –** Sistema TN [8].

- Ligação à terra do neutro do transformador;
- Distribuição do neutro (se não se verificar) e do condutor de proteção (TN-S) ao longo da instalação quando:
  - Canalizações são amovíveis;
  - Secção do neutro <10mm$^2$, se de cobre, ou <16mm$^2$ se de alumínio;
  - Necessidade de proteção de recetor ou proteção contra risco de incêndio/explosão através de aparelho diferencial;

- No caso de não se verificar o ponto anterior, o condutor de neutro (N) (deve estar distribuído ao longo da instalação) passa a condutor PEN (TN-C) e terá de ser dimensionado de modo a suportar as correntes de defeito (curto-circuito);
- Conetar o borne de massa do recetor ao condutor PEN (TN-C) ou ao condutor PE (TN-S);
- Implementar a repartição das ligações à terra ao longo do condutor PEN (TN-C) ou ao longo do condutor PE (TN-S), uma vez que é necessário garantir que se mantenha ao potencial da terra;
- Quanto à proteção de pessoas, deve-se garantir o corte de alimentação ao primeiro defeito de isolamento através de dispositivos de proteção de defeito entre fases (por exemplo os disjuntores ou fusíveis) (TN-C/TN-S) ou através de aparelho diferencial (TN-S);

## 8.4.7 – Caso de Mudança do Sistema IT para TT

De IT:

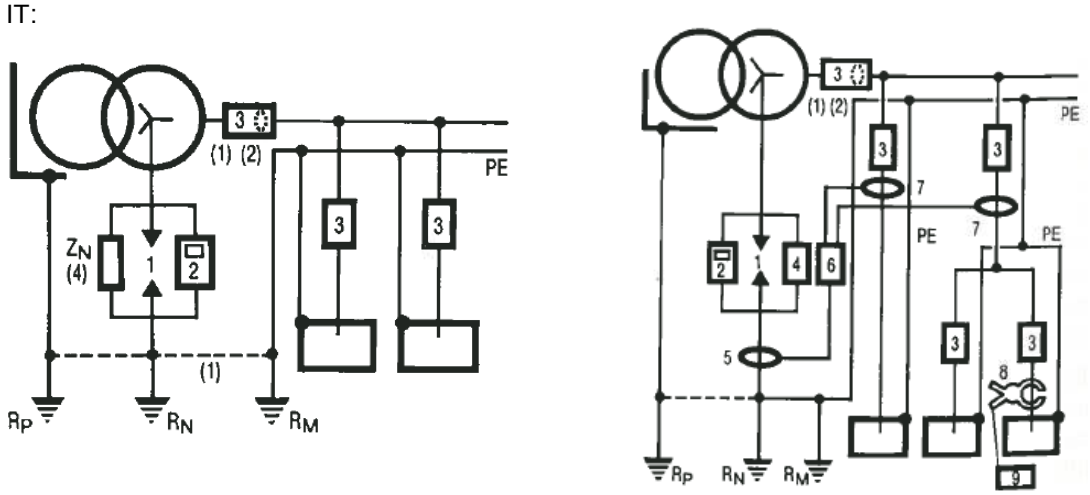



**Figura 8.30 –** Sistema IT, esquema (a) (esquerda) e esquema (b) (direita) [1].

Para TT:

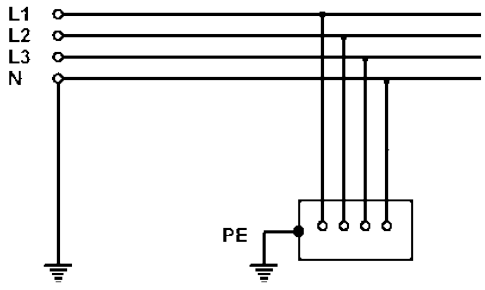



**Figura 8.31 –** Sistema TT [8].

- Ligação à terra do neutro do transformador;
- Distribuição do condutor de neutro ao longo da instalação (se ainda não se verificar);
- As massas metálicas dos recetores são ligadas diretamente à terra ou é feita uma ligação equipotencial entre as massas dos recetores e componentes metálicos exteriores à instalação elétrica e ligados a um único elétrodo de terra;
- Proteção diferencial à cabeça da instalação com corte do circuito ao primeiro defeito de isolamento (esta topologia é mínima obrigatória e não garante seletividade, para outros casos em que se garante seletividade ver secção 5.5.2.2);
- Proteção clássica para cada circuito;

# Capítulo 9
# Conclusão

Após toda a análise e estudo pormenorizado sobre os regimes de neutro mais difundidos em instalações elétricas de baixa tensão, TT, TN e IT podemos tirar as seguintes conclusões:

- Nenhum dos regimes apresenta, por si só, segurança relativamente a contatos diretos e indiretos. São necessários meios de proteção que os completam e que são obrigatórios para o funcionamento adequado de cada um e para que estejam de acordo com as normas e regras como foi descrito nas secções 4.4 e 5.5;
- Todos os regimes de neutro, quando bem implementados e de acordo com as normas, protegem eficazmente as pessoas contra choques elétricos;
- A necessidade de ter de optar por um dos regimes em alternativa de qualquer um dos outros prende-se com o fato de outras condicionantes entrarem em jogo no momento da escolha. É necessário ter em consideração o tipo de exploração que terá o sistema, com ou sem continuidade de serviço, sendo por isso importante saber qual a atividade que se desenvolverá no local da instalação. Essa atividade pode ser decisiva na escolha do regime se este for imposto por norma ou lei. É de igual modo importante saber quais os recursos de que o cliente dispõe, nomeadamente se dispõe, ou não, de equipa de manutenção com técnicos especializados. Também é fundamental conhecer as características do local da futura instalação, assim como as características da natureza da rede e dos recetores que serão conetados a essa instalação elétrica. São todos estes fatores que influenciam e determinam a escolha do regime de neutro mais apropriado para a futura instalação elétrica. Através da escolha acertada do regime de neutro teremos a máxima fiabilidade possível da instalação de acordo com as características particulares que esta apresenta. Nestas condições a segurança de pessoas e bens é salvaguardada assim como a melhor exploração do sistema com o mínimo de falhas possível.
- O regime de neutro que melhor se adapta à grande maioria das situações tendo em conta as diferentes características é o TT (ver tabela 7.1). Possui como vantagens o fato de não ser necessária equipa de manutenção, não serem colocados fora de serviço todos os circuitos da instalação, em caso de defeito num dos circuitos, se for garantida a seletividade da instalação. Também é um regime que, devido à proteção obrigatória por disjuntor diferencial de corrente residual, comporta, em caso de defeito, correntes de defeito reduzidas o que permite

aumentar a longevidade da instalação. Possui uma grande facilidade de expansão comparativamente aos outros regimes. Tendo em consideração o que foi dito e o fato de ser o regime que necessita de menor manutenção torna-o bastante vantajoso. A instalação em si é um pouco mais cara que a IT principalmente se houver seletividade.

- Quando um dos requisitos é a continuidade de serviço apenas o regime IT é capaz de cumprir com esta necessidade. No entanto, este regime obriga à existência de uma equipa de manutenção qualificada para que possa garantir a vigilância e reparação da rede no caso de ocorrência do primeiro defeito. Este facto, apesar de tornar a instalação mais fiável, torna-a mais dispendiosa. Também é um regime que comporta baixas correntes de defeito no caso do primeiro defeito, já no segundo as correntes são elevadas (curto-circuito bifásico). Necessita de um controlador permanente de isolamento e demais aparelhagem como descrito na secção 5.5.2.1 o que torna este regime mais custoso ainda. Posto isto, este regime só se aplica quando a necessidade de continuidade de serviço é primordial.
- O regime TN é, dos três regimes, o mais económico em termos de material e aparelhagem para implementação. Permite economizar um condutor ao longo da instalação, assim como um pólo na aparelhagem utilizada (TN-C), dado que o neutro não pode ser protegido, tornando assim este regime mais económico, no entanto necessita de uma manutenção cuidada já que a proteção das pessoas se faz pelo condutor de neutro (TN-C), sendo importante que este tenha uma ligação à terra repartida ao longo da instalação para que seja mantido ao potencial da terra e para que não haja elevação do potencial nas massas dos recetores da instalação. Necessita então de equipa de manutenção qualificada para manter a instalação operacional e segura assim como para expansões da rede as quais devem ser cuidadas e rigorosas. As correntes de defeito neste sistema são elevadas (curto-circuito monofásico) sendo a deterioração desta instalação mais elevada devido a este fato (efeitos eletrodinâmicos). A variante deste regime é o TN-S em que a proteção elétrica é feita por um condutor separado (PE) do condutor de neutro (N). É utilizado em instalações flexíveis ou quando a secção do condutor de neutro for inferior a 10mm$^2$, se de cobre e 16mm$^2$, se de alumínio (ver secção 3.5.2) ou quando há probabilidade do condutor PEN ser interrompido se fosse utilizado o regime TN-C ou ainda quando há necessidade de proteger um recetor ou um local com risco de incêndio/explosão através de aparelho diferencial. Devido a toda a segurança assentar numa boa ligação à terra repartida ao longo do condutor PEN (TN-C) ou ao longo do condutor PE (TN-S), torna este sistema carente de uma manutenção mais cuidada e necessita de cálculos mais rigorosos e cuidados redobrados aquando da necessidade de expansão da rede. É um regime que necessita apenas de disjuntores ou fusíveis para efetuar a proteção (TN-C) daí poder advir uma maior economia relativamente ao regime TT, no entanto, tendo em conta as características atrás referidas (elevadas correntes de defeito) só pode ser utilizado em situações mais particulares e nunca em locais com elevado risco de incêndio/explosão, por exemplo.

Tendo em conta as várias particularidades que influenciam na escolha do regime a adotar foram elaborados (ver secção 8.3) fluxogramas para a escolha simples e rápida do RN tendo

em atenção os passos necessários para a escolha do regime já atrás referidos (guia do projetista). De um modo simples e rápido o projetista ao consultar o fluxograma, sabendo à priori a natureza da rede, dos recetores e/ou “outras características”, assim como exigências e recursos do cliente chega ao RN mais apropriado para o local. Nos exemplos demonstrados sobre a aplicação prática (ver anexos A.1) do guia do projetista (fluxogramas) foram escolhidos vários locais de modo a conjugarem uma ou mais características distintas fazendo com que se possa perceber na prática a consulta do mesmo. Utilizando o exemplo da “infra-estrutura portuária” temos duas características distintas sendo uma, recetor de risco, e a outra, rede sujeita a sobretensões. Consultando cada um dos fluxogramas de acordo com cada característica e de acordo com as exigências do cliente chegamos ao regime TT. Deste modo demonstra-se como se encontra o regime aconselhado tendo em conta duas ou até mais características distintas. Claro está que no caso de dois fluxogramas conduzirem a regimes de neutro distintos é porque as duas características são incompatíveis. Nesse caso, se não houver possibilidade de alterar uma ou mais características de modo a torná-las compatíveis, deve-se optar pelo regime de neutro que traga menos problemas para o funcionamento da instalação como é o caso no “edifício de escritórios de apoio ao cliente” (ver anexos A.1.3.1).

Outro exemplo de um caso em que existem duas características incompatíveis entre si é o do “armazém de produtos congelados de pequena dimensão” (A.1.3.7) que necessita de continuidade de serviço mas não possui equipa de manutenção para o qual o fluxograma conduz a “Nenhum RN compatível”, no entanto aconselha o regime TT (com seletividade) que, tendo em conta as particularidades da situação, é o que melhor resolve o problema. Teremos então um regime TT seletivo que apenas colocará fora de serviço o circuito em defeito deixando o resto da instalação alimentada.

Ainda nos exemplos de demonstração é dado um caso em que o regime de neutro é definido pela norma sendo este a “clínica cirúrgica” em que o regime de neutro a adotar é o IT como vem na CEI 60364-7-710.

Pudemos perceber ao longo do trabalho e da elaboração do guia do projetista que cada detalhe quer ao nível da rede, da atividade futura no local, ao nível dos recetores e até mesmo do local da instalação podem ser determinantes na escolha do RN a adotar. Verificamos também que nem sempre é possível chegar a um RN que seja compatível com todas as características, sendo nesse caso necessário, se possível, alterar alguma ou algumas características de modo a torná-las compatíveis com um RN que se torne aconselhado. Caso não seja possível a compatibilidade entre características é necessária a escolha de um RN que melhor se adeqúe às mesmas.

A elaboração do guia do projetista (capítulo 8) permite assim de uma forma simples e prática, graças à construção dos fluxogramas, o aconselhamento do regime de neutro (RN) que melhor se adequa a uma dada situação. O regime aconselhado pelos fluxogramas do guia permite a máxima continuidade de serviço (disponibilidade) de acordo com as condições e características exigidas, assim como, a máxima segurança das pessoas e bens. Deste modo é possível economizar devido à redução de “não disponibilidade” de energia. A não continuidade

obriga a custos de “não produção” ou a “custos de perdas” de bens (por exemplo mantimentos em arcas congeladoras) que podem ser causados pela escolha inadequada do regime de neutro, custos estes que podem ser avultados. (No caso de clinicas operatórias o regime IT é obrigatório, garantindo a continuidade). A escolha inadequada pode também colocar em risco os bens existentes no local da instalação (até mesmo os próprios recetores da instalação elétrica e pessoas que estejam nesse local), basta, por exemplo, que o local seja propício ao risco de incêndio ou explosão. Há assim um variado número de fatores a tomar em consideração no momento de decisão do regime a selecionar, seleção essa, que se for apropriada, pode ser sinónimo de economia, proteção aumentada dos bens e até das pessoas garantindo simultaneamente disponibilidade máxima, uma maior fiabilidade e a satisfação do cliente.

Ainda no capítulo 8 (secção 8.4) foi elaborado um guia complementar para alteração do regime de neutro de uma instalação elétrica já existente, sendo abordadas as alterações práticas necessárias efetuar para cada caso (alterações mínimas obrigatórias). Foram ainda elaborados esquemas de ligação na instalação do consumidor final que se encontram no anexo, A.2, que permitem ajudar o projetista a perceber as ligações que deverão existir em cada RN.

# Bibliografia


[1] SOLIGNAC, Gérard, "Guide de l'ingénierie électrique des réseaux internes d'usines- Technique & Documentation-Lavoisiere & Doc-Electra". Ouvrage réalisé par un groupe animé par Gérard Solignac, 1990.

[2] http://paginas.fe.up.pt/~arminio/cie/apontamentos.html - Concepção de Instalações Elétricas – Proteção de Pessoas, acedido em Novembro de 2012.

[3] Tison, Etienne, "Electrical installation guide 2010 – According to IEC international standards". Schneider Electric, 2010.

[4] Jullien, François, Heritier, Isabelle, "Cuaderno Técnico nº 178 – El esquema IT (neutro aislado) de los esquemas de conexión a tierra BT". Schneider Electric , 2001.

[5] Teixeira, Armínio. "Concepção de Instalações Elétricas – Sistema TN, pdf ", FEUP, 2004.

[6] Lacroix, Bernard, Calvas, Roland, "Caderno Técnico nº 172 – Esquemas das Ligações de Aterramento de BT (regimes de neutro)". Schneider Electric, 2000.

[7] Lacroix, Bernard, Calvas, Roland, "Cuaderno Técnico nº 173 – Los esquemas de las conexiones a tierra en el mundo e su evolución". Schneider Electric, 2000.

[8] http://automoveiseletricos.blogspot.pt/2012/07/instalacaoeletrica-residencial.html - Veículos Elétricos - Os Carros Verdes, acedido em Outubro de 2012.

[9] Schneider Electrics. "Programa de Formação continuada – Proteção diferencial". Schneider Electric, 2007.

[10] http://engionica.blogspot.pt/2012/10/regimes-de-neutro-tt-tn-it.html - Sítio Eletrotécnico - Espaço Dedicado à Engenharia Eletrotécnica, acedido em Novembro de 2012.

[11] http://elettroblog.issm.it/?p=339 – ELETTROBLOG – Instituto Salesiano San Marco, acedido em Outubro de 2012.

[12] Mitolo, Massimo, "Electrical Safety of Low-Voltage Systems", 2009.

[13] Lourenço, Sérgio, Farias Silva, Thadeu, Silva Filho, Silvério, "Um estudo sobre os efeitos da electricidade no corpo humano sob a égide da saúde e segurança do trabalho", S.Paulo, 2007.

[14] "Proteção contra choques eléctricos e incêndios- Dispositivos DR", Siemens, 2009.

[15] Cronshaw, Geoff, "Earthing: Your Questions Answered". IEE Wiring Matters, Autumn 2005.

[16] "Electrical Installation Guide 2008". Schneider Eletric, 2008.

[17] Santos, José Neves. ”Riscos Eléctricos e Protecção de Pessoas”. Instalações Eléctricas, FEUP, Maio 2006.

[18] DGGE,CERTIEL, “Regras Técnicas de Instalações Eléctricas de Baixa Tensão”. 1ª Edição Anotada, 2006.

# Anexos

## A.1 – Aplicação do Algoritmo

### A.1.1 – Introdução

Este capítulo tem por objetivo aplicar o algoritmo descrito e desenvolvido no capítulo anterior (capítulo 8).

Será seguida a seguinte ordem:

1º. Verificar a finalidade da instalação;
2º. Verificar se a escolha do RN é recomendada ou imposta por normas ou legislação;
3º. Conhecer as exigências e os recursos do cliente (continuidade/não continuidade de serviço, com ou sem serviço de manutenção);
4º. Conhecer as características particulares da rede (características dos recetores a instalar, da rede e outras);
5º. Escolha do Regime de Neutro tendo em conta os pontos anteriores;

As instalações alvo da aplicação deste algoritmo são:

- Edifício de escritórios de apoio ao cliente;
- Clínica cirúrgica;
- Fábrica pirotécnica;
- Clínica veterinária;
- Infra-estrutura portuária;
- Infantário;
- Armazém de produtos congelados;
- Pistas de aeroporto;

## A.1.2 – Características da rede, dos recetores e outras. Exigências e recursos do cliente para cada instalação.

### A.1.2.1 – Edifício de escritórios de apoio ao cliente

Tipo de recetores:

- Computadores;
- Aparelhagem informática;

Exigências e recursos do cliente:

- Tem equipa de manutenção;
- É exigida continuidade de serviço;

Características relevantes:

- Rede extensa com boas ligações à terra;

### A.1.2.2 – Clínica cirúrgica

Tipo de recetores:

- Aparelhagem hospitalar;

Exigências e recursos do cliente:

- Tem equipa de manutenção;
- É exigida continuidade de serviço;

Características relevantes:

- Não apresenta;

### A.1.2.3 – Fábrica pirotécnica

Tipo de recetores:

- Máquinas para fabrico de artigos pirotécnicos;

Exigências e recursos do cliente:

- Não tem equipa de manutenção;
- Não exigida continuidade de serviço;

Características relevantes:

- Local com risco de incêndio e explosão;
- Rede extensa com más ligações à terra;

## A.1.2.4 – Clínica veterinária

Tipo de recetores:

- Aparelhagem hospitalar e cirúrgica;

Exigências e recursos do cliente:

- Tem equipa de manutenção;
- É exigida continuidade de serviço;

Características relevantes:

- Não apresenta;

## A.1.2.5 – Infra-Estrutura portuária

Tipo de recetores:

- Guinchos;

Exigências e recursos do cliente:

- Não tem equipa de manutenção;
- Não é exigida continuidade de serviço;

Características relevantes:

- Rede sujeita a sobretensões;

## A.1.2.6 – Infantário

Tipo de recetores:

- Aparelhagem de uso doméstico;

Exigências e recursos do cliente:

- Não tem equipa de manutenção;
- Não é exigida continuidade de serviço;

Características relevantes:

- Rede aérea;
- Forno industrial com baixo isolamento;

## A.1.2.7 – Armazém de produtos congelados de pequena dimensão

Tipo de recetores:

- Arcas congeladoras e frigoríficas;

Exigências e recursos do cliente:

- Não tem equipa de manutenção;
- É exigida continuidade de serviço;

Características relevantes:

- Rede extensa com boas ligações à terra;

## A.1.2.8 – Pistas de aeroporto

Tipo de recetores:

- Aparelhagem de comando e controlo;

Exigências e recursos do cliente:

- Tem equipa de manutenção;
- É exigida continuidade de serviço;

Características relevantes:

- Não apresenta;

## A.1.3 – Escolha do Regime de Neutro

## A.1.3.1 – Edifício de escritórios de apoio ao cliente

De acordo com o fluxograma 8.3.3.3 (presença de equipamentos eletrónicos) o regime de neutro aplicável tendo em conta todas as exigências e esta característica é o IT.

De acordo com o fluxograma 8.3.1.1 (rede extensa com boas ligações à terra) o regime de neutro aplicável dado pelo fluxograma é “Nenhum RN compatível devido à característica da rede”.

Neste caso, se for possível alterar esta característica que impossibilita a utilização do regime IT fica resolvida a situação e aplica-se o regime IT. Se não for possível alterar aplica-se o regime TT que é o que melhor se adapta à situação tendo em conta as restrições, uma vez

que se for garantida seletividade apenas o circuito em defeito é desligado continuando o resto da instalação em serviço.

## A.1.3.2 – Clínica cirúrgica

De acordo com a CEI 60364-7-710 o regime de neutro para este caso é o IT.

## A.1.3.3 – Fábrica pirotécnica

De acordo com o fluxograma da secção 8.3 o regime de neutro aplicável tendo em conta todas as exigências e a característica de perigo de incêndio e explosão é o TT.

De acordo com o fluxograma da secção 8.3.1.2 (rede extensa com más ligações à terra) o regime de neutro aplicável tendo em conta todas as exigências e esta característica é o TT.

O regime de neutro aconselhado é então o TT.

## A.1.3.4 – Clínica veterinária

De acordo com o fluxograma da secção 8.3 o regime de neutro aplicável tendo em conta todas as exigências e características é o IT.

## A.1.3.5 – Infra-Estrutura portuária

De acordo com o fluxograma da secção 8.3.2.3 (recetores de risco) o regime de neutro aplicável tendo em conta todas as exigências e esta característica é o TT.

De acordo com o fluxograma da secção 8.3.1.3 (rede sujeita a sobretensões) o regime de neutro aplicável tendo em conta todas as exigências e esta característica é o TT.

O Regime de neutro aconselhado é então o TT.

## A.1.3.6 – Infantário

De acordo com o fluxograma da secção 8.3.1.5 (rede com linhas aéreas) o regime de neutro aplicável tendo em conta todas as exigências e características é o TT.

De acordo com o fluxograma da secção 8.3.2.2 (recetores com baixo nível de isolamento) o regime de neutro aplicável tendo em conta todas as exigências e características é o TT.

O regime de neutro aconselhável é o TT, no entanto, para permitir continuidade de serviço e a segurança é recomendável separar o forno industrial do resto da instalação através de um transformador de separação com ligação ao neutro local.

## A.1.3.7 – Armazém de produtos congelados de pequena dimensão

De acordo com o fluxograma da secção 8.3.1.1 (rede extensa com boas ligações à terra) verificamos que não há regime compatível pois não existe compatibilidade entre continuidade de serviço e a não existência de equipa de manutenção.

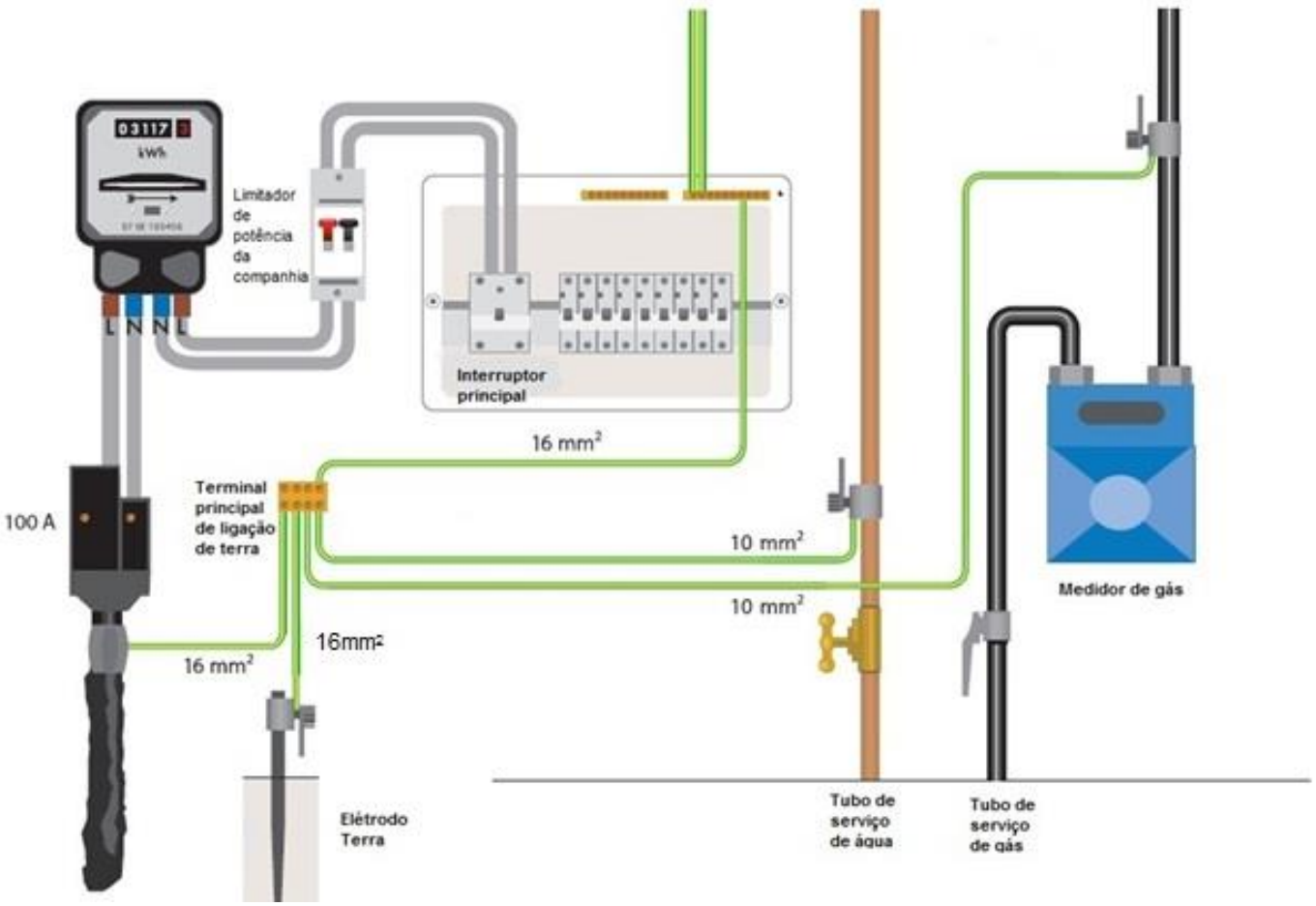
Neste caso particular o regime que melhor se pode adaptar à situação é o TT, uma vez que se for garantida seletividade apenas o circuito em defeito é desligado continuando o resto da instalação em serviço.

## A.1.3.8 – Pistas de aeroporto

De acordo com o fluxograma da secção 8.3.2.4 (alimentação de sistema de controlo e comando) o regime de neutro aplicável tendo em conta todas as exigências e características é o IT.

## A.2 – Esquema de ligações na instalação do utilizador final

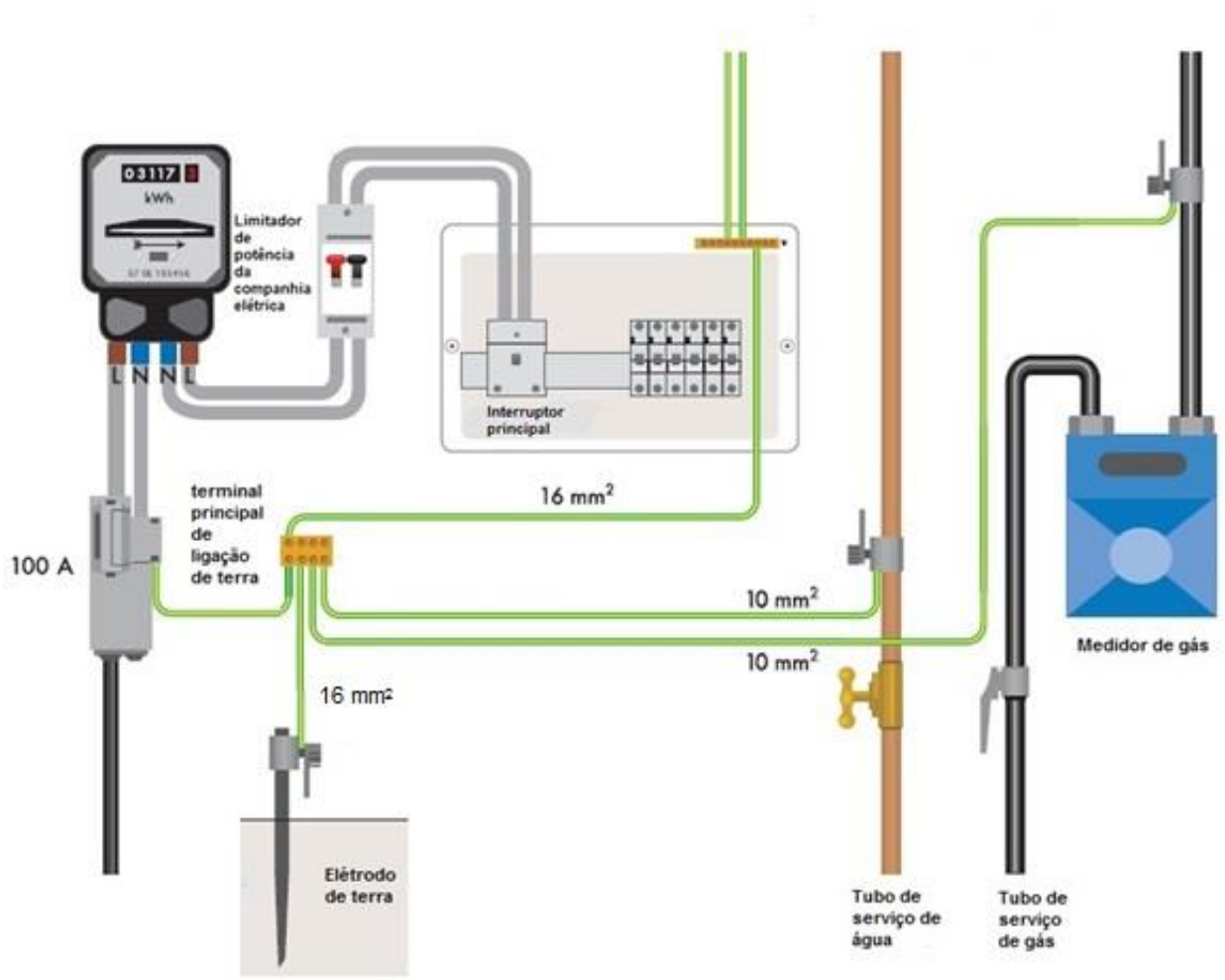
### A.2.1 – Caso de Instalação TN-S




A secção do condutor de fase neste exemplo é de 25mm$^2$. Assim o condutor de proteção elétrica é de 16mm$^2$ (ver RTIEBT, 543.1.2, secção 54) e o condutor de equipotencialidade é de 10mm$^2$ (ver RTIEBT, 547.1.1, secção 54).

**Figura A.1 –** Sistema TN-S (monofásico) na instalação do utilizador final.

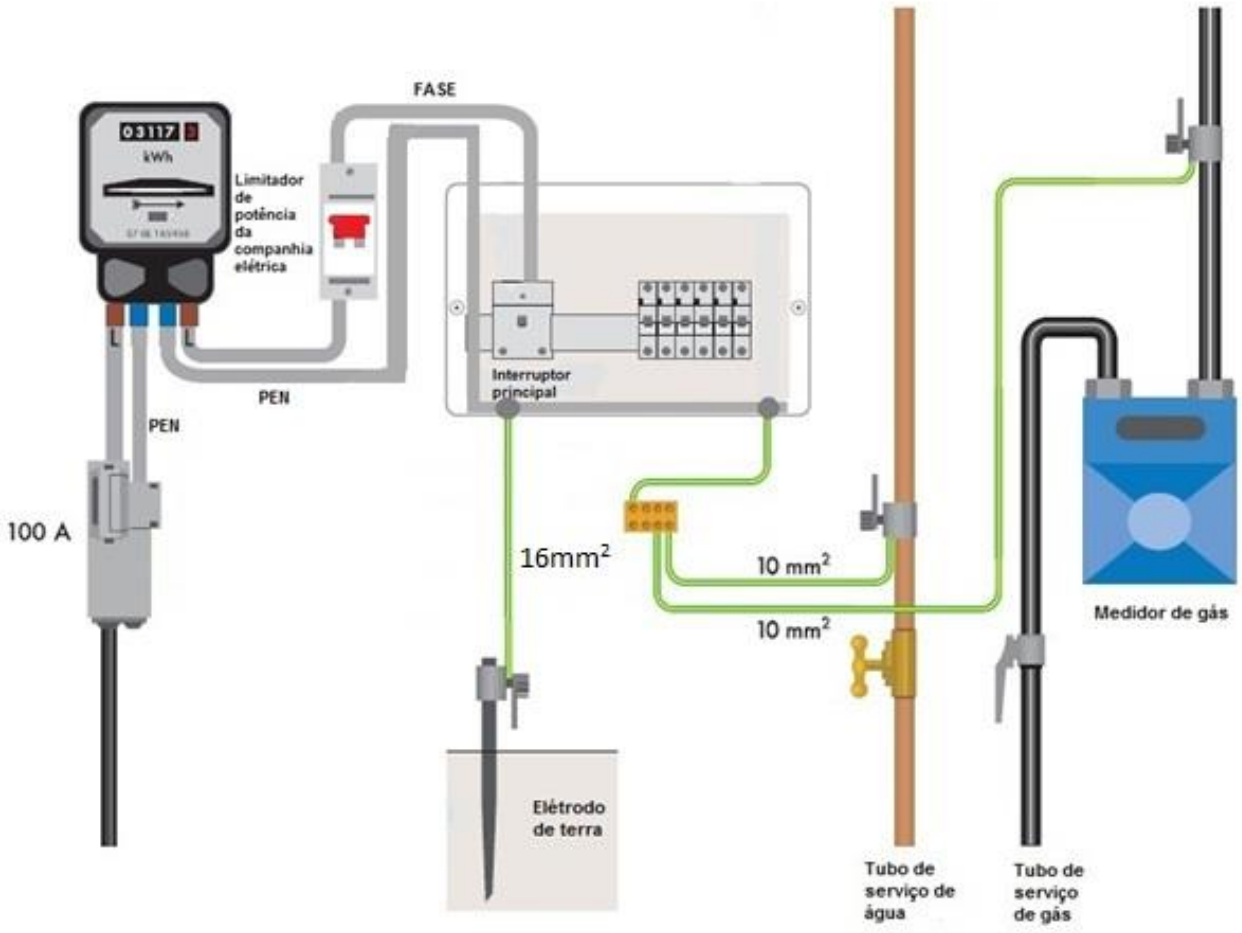
## A.2.2 – Caso de Instalação TN-C-S




A secção do condutor de fase neste exemplo é de 25mm$^2$. Assim o condutor de proteção elétrica é de 16mm$^2$ (ver RTIEBT, 543.1.2, secção 54) e o condutor de equipotencialidade é de 10mm$^2$ (ver RTIEBT, 547.1.1, secção 54).

**Figura A.2 –** Sistema TN-C-S (monofásico) na instalação do utilizador final.

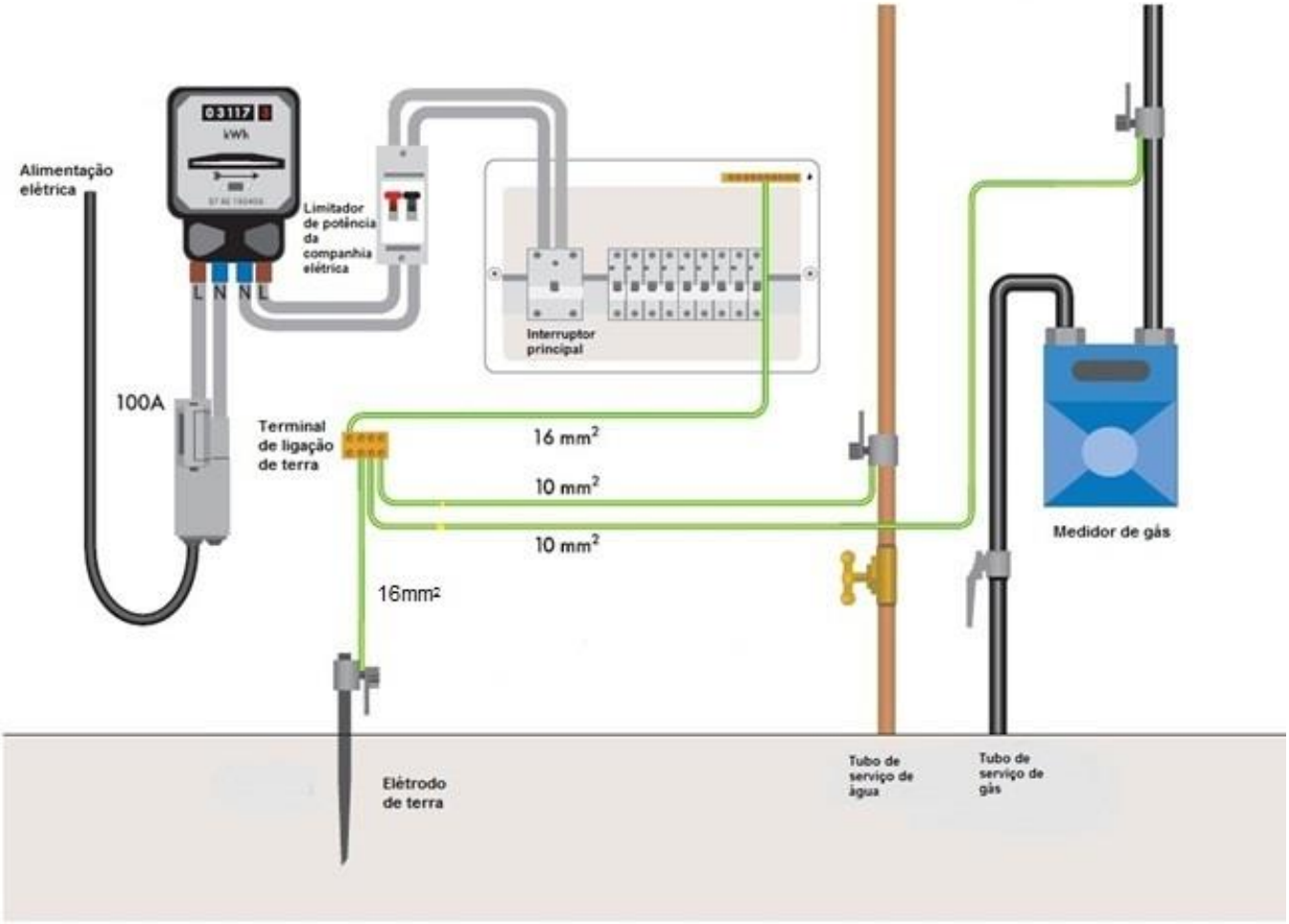
## A.2.3 – Caso de Instalação TN-C




A secção do condutor de fase neste exemplo é de 25mm$^2$. Assim o condutor de proteção elétrica é de 16mm$^2$ (ver RTIEBT, 543.1.2, secção 54) e o condutor de equipotencialidade é de 10mm$^2$ (ver RTIEBT, 547.1.1, secção 54).

**Figura A.3 –** Sistema TN-C (monofásico) na instalação do utilizador final.

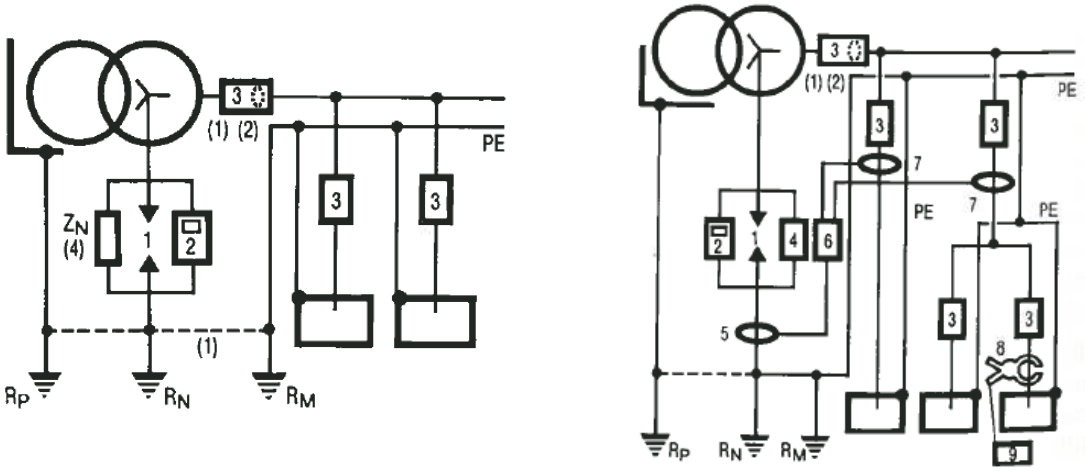
## A.2.4 – Caso de Instalação TT




A secção do condutor de fase neste exemplo é de 25mm$^2$. Assim o condutor de proteção elétrica é de 16mm$^2$ (ver RTIEBT, 543.1.2, secção 54) e o condutor de equipotencialidade é de 10mm$^2$ (ver RTIEBT, 547.1.1, secção 54).

**Figura A.4 –** Sistema TT (monofásico) na instalação do utilizador final.

## A.2.5 – Caso de Instalação IT




- **esquema (a)** o qual permite a localização de defeito por abertura sucessiva de circuitos da instalação*.
- **esquema (b)** o qual permite a localização de defeito sem corte dos circuitos através de dispositivo de procura de defeito sob tensão*.

**Figura A.5–** Sistema IT, esquema (a) (esquerda) e esquema (b) (direita) [1].

**Nota:** *Ver secção 5.5.2.1.